



Міністерство освіти і науки України

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

**III Міжнародна науково-технічна
конференція «Енергоефективність
та енергетична безпека
електроенергетичних систем»**

EEES-2019

Збірник наукових праць

12-15 листопада 2019 р.

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет «Харківський
політехнічний інститут»
Університет Обуда (Угорщина)
Технічний Університет в Кошице (Словаччина)
Харківський національний технічний університет сільського
господарства імені Петра Василенка
Державне підприємство «Національна енергетична
Компанія «Укренерго»
Акціонерне товариство «Харківобленерго»
Товариство з обмеженою відповідальністю «БІР Україна»
Публічне акціонерне товариство «Завод «Південкабель»
Харківське регіональне науково-технічне товариство
енергетиків та електротехніків

ЗБІРНИК
НАУКОВИХ ПРАЦЬ

III Міжнародної науково-технічної конференції
«ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ЕНЕРГЕТИЧНА БЕЗПЕКА
ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ (EEES-2019)»

12 - 15 листопада 2019 р.
Україна, Харків

УДК 621.31
Т66

Редакційна колегія:

Бондаренко Р. В., Данильченко Д. О., Довгалик О. М., Кулик О. С.,
Шевченко С. Ю., Шутенко О. В., Яковенко І.С.

Т66 **ІІІ Міжнародна** науково-технічна конференція
«Енергоефективність та енергетична безпека електроенергетич-
них систем (EEES-2019)». Збірник наукових праць. Харків :
«Друкарня Мадрид», 2019. – 148 с.

ISBN 978-617-7845-08-8

До збірника включені наукові доповіді учасників конфе-
ренції «Енергоефективність та енергетична безпека електро-
енергетичних систем (EEES-2019)».

Матеріали збірника публікуються в авторському варіанті
без редагування

Видання підготовлено кафедрою передачі електричної енергії
Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут»

61002, Україна, Харків, вул. Кирпичова, 2

УДК 621.31

ISBN 978-617-7845-08-8

© НТУ «ХПІ», 2019
© «Друкарня Мадрид», 2019

ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ:

Марченко Андрій Петрович – проректор НТУ «ХПІ» з наукової роботи, Заслужений діяч науки і техніки України, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, академік АН вищої школи України, д.т.н., проф., завідувач кафедри двигунів внутрішнього згоряння, Україна;

Лісачук Георгій Вікторович – завідуючий науково-дослідною частиною НТУ «ХПІ», д.т.н., проф., лауреат Державної премії України, заслужений діяч науки і техніки України, Україна;

Томашевський Роман Сергійович – д.т.н., доц., директор навчально-наукового інституту енергетики, електроніки та електромеханіки НТУ «ХПІ», Україна;

Морва Джордж – д.т.н., проф., проф. електротехнічного факультету університету Обуда, Будапешт, Угорщина;

Колкун Міхал – д.т.н., проф., завідувач кафедри електроенергетики, факультет електротехніки та інформатики Технологічного університету в Кошице, Кошице, Словаччина;

Шевченко Сергій Юрійович – д.т.н., проф., завідувач кафедри передачі електричної енергії НТУ «ХПІ», Україна;

Гриб Олег Герасимович – д.т.н., проф., завідувач кафедри автоматизації та кібербезпеки енергосистем НТУ «ХПІ», Україна;

Гурин Анатолій Григорович – д.т.н., проф., завідувач кафедри електроізоляційної та кабельної техніки НТУ «ХПІ», Україна;

Лазуренко Олександр Павлович – к.т.н., доц., проф. НТУ «ХПІ», завідувач кафедри електричних станцій НТУ «ХПІ», Україна;

Мірошник Олександр Олександрович – д.т.н., проф., завідувач кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту ХНТУСГ, Україна;

Довгалюк Оксана Миколаївна – к.т.н., доц., професор кафедри передачі електричної енергії НТУ «ХПІ», Україна;

Шутенко Олег Володимирович – к.т.н., доц., доцент кафедри передачі електричної енергії НТУ «ХПІ», Україна;

Черемісін Микола Михайлович – к.т.н., проф., професор кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту ХНТУСГ, Україна;

Сілlesen Нільс Томас – директор ТОВ «БІР Україна», Данія;

Золотарьов Володимир Михайлович – д.т.н., проф., генеральний директор ПАТ «Завод «Південкабель», Україна;

Антонець Юрій Опанасович – к.т.н., технічний директор ПАТ «Завод «Південкабель», Україна;

Ганус Олексій Іванович – к.т.н., доц., заступник голови правління АТ «Харківобленерго» з технічних питань, Україна;

Старков Костянтин Олександрович – к.т.н., доц., заступник начальника виробничо-технічного управління АТ «Харківобленерго», Україна;

Белікова Тетяна Олександрівна – заступник голови Харківського регіонального науково-технічного товариства енергетиків та електротехніків, Україна.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ:

Федосєєнко Олена Миколаївна – к.т.н., старший викладач кафедри передачі електричної енергії НТУ «ХПІ», Україна;

Данильченко Дмитро Олексійович – к.т.н., доцент кафедри передачі електричної енергії НТУ «ХПІ», Україна;

Дривецький Станіслав Ігорович – к.т.н., асистент кафедри передачі електричної енергії НТУ «ХПІ», Україна;

Бондаренко Роман Вікторович – аспірант кафедри передачі електричної енергії НТУ «ХПІ», Україна;

Канунніков Роман Васильович – інженер-конструктор ТОВ «БІР Україна», Україна;

Шаповалова Марія Ігорівна – аспірантка кафедри динаміки та міцності машин НТУ «ХПІ», Україна.

ЗМІСТ

MODERN MEANS OF ELECTRIC NETWORKS AND SYSTEMS MODES CALCULATION	
Bezotnyi P.I., Dovgalyuk O.M., Privalov Yu.L., Yakovenko I.S.	12
THE HYDROPOWER PLANTS ROLE IN PROVIDING A CAPACITY RESERVE IN THE TAJIKISTAN ELECTRIC POWER SYSTEM	
Dovgalyuk O.M., Lazurenko O.P., Saidov Sh.N.	15
INCREASING OF THE ELECTRIC TRANSPORT EFFICIENCY	
Kovalev O.V., Kuznetsov V.G.	17
FEATURES OF THE COMBINED TYPE DEFECTS RECOGNITION BY DGA RESULTS OF THE OIL-FILLED EQUIPMENT	
Kulyk O.	19
STUDIES OF THE GLOBAL SITUATION IN THE FIELD OF ELECTRICITY GENERATION ON RENEWABLE ENERGY SOURCES	
Zaitsev R.V., Minakova K.O.	20
ОСОБЛИВОСТІ БЕЗПЕРЕРВНОГО КОНТРОЛЮ ВМІСТУ ГАЗІВ У ВИСОКОВОЛЬТНОМУ МАСЛОНАПОВНЕНОМУ ОБЛАДНАННІ	
Абрамов В.Б.	22
ВЫЧИСЛЕНИЕ МОЩНОСТИ В ЦЕПИ С ВЕНТИЛЬНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ ПРИ ЕЁ МОДЕЛИРОВАНИИ	
Абуджох Х.Дж., Марко С.А., Сенько А.С., Ягуп В.Г., Ягуп Е.В.	24
ЭНЕРГОГЕНЕРИРУЮЩАЯ ПЛАТФОРМА С МУЛЬТИПЛИКАТОРОМ НА ОСНОВЕ ПРЯМОЗУБЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС	
Аргун Щ.В., Гнатов А.В., Гнатова А.А., Дзюбенко А.А.	26
АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТЯГОВИХ ПІДСТАНЦІЙ ЗА ФАЗОВИМИ ПОРТРЕТАМИ	
Бабенко Р.І.	28
ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧІ СИСТЕМИ ПРОЦЕСОМ ВИРОБІТКИ, ПЕРЕДАЧІ, РОЗПОДІЛУ І СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В УМОВАХ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ДЕЦЕНТРАЛІЗАЦІЇ ЕНЕРГОСИСТЕМ	
Бакунець В.В., Корабльов М.О., Черевик Ю.О., Чернюк А.М.	29
ТЕХНОЛОГІЇ УТВОРЕННЯ СТРУМОПРОВІДНИХ КАНАЛІВ У АТМОСФЕРІ ДЛЯ СИСТЕМ УТИЛІЗАЦІЇ АТМОСФЕРНОЇ ЕЛЕКТРИКИ	
Баранник С.Я., Петрів В.Р.	31
ПРИВЕДЕННЫЕ И РАСЧЕТНЫЕ НАГРУЗКИ УЗЛОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ	
Барбашов И.В., Догода А.В., Кныш А.Е., Омеляненко Г.В.	32

УТОЧНЕННЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИВЕДЕННЫХ НАГРУЗОК УЗЛОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ С ДВУХОБМОТОЧНЫМИ ТРАНСФОРМАТОРАМИ

Барбашов И.В., Гайворонский С.В., Донец Б.И., Коблюк Я.Н. 35

ВОЛОКОННО-ОПТИЧНІ КАБЕЛІ - ЯК ПІДГРУНТЯ ДЛЯ ПОБУДОВИ ЦИФРОВИХ ПІДСТАНЦІЙ

Безпрозванних Г.В., Кессаєв О.Г. 37

ІННОВАЦІЙНИЙ ПІДХІД ДО ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЯ ОДНОФАЗНИХ ЗАМИКАНЬ НА ЗЕМЛЮ В ПОВІТРЯНИХ МЕРЕЖАХ 6-35кВ ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ КОНЦЕПЦІЇ SMART GRID В УКРАЇНІ

Безручко В.М., Буйний Р.О., Ткач В.І. 38

ВПРОВАДЖЕННЯ SMART GRID СИСТЕМ ДЛЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ ДОПОМІЖНИХ ПОСЛУГ НА ЕНЕРГОРИНКУ УКРАЇНИ

Бондаренко Р.В., Довгалюк О.М., Лежнюк П.Д., Черемісін М.М. 42

АНАЛІЗ ВИЗНАЧЕННЯ ВТРАТ ЕНЕРГІЇ ВІД СТРУМІВ ВИТОКУ ПО ІЗОЛЯТОРАМ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ

Борзенков І.І., Данильченко Д.О., Шевченко С.Ю. 44

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ УСТАНОВКИ ЗА СЧЕТ МОДЕРНИЗАЦИИ РАЗРЯДНИКА СО СКОЛЬЗЯЩИМ РАЗРЯДОМ

Борисенко А.Н., Ревуцкий В.И. 46

АНАЛІТИЧНЕ ПОРІВНЯННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ЗА ДВОМА СТАНДАРТАМИ В ЛІНІЯХ НЕТАЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАЛІЗНИЦЬ ЗМІННОГО СТРУМУ

Босий Д.О., Земський Д.Р. 47

РОЗРОБКА ФІЗИЧНОЇ МОДЕЛІ РОЗГЕРМЕТИЗАЦІЇ ОБОЛОНКИ ТВЕЛ

Бровко К.Ю., Буданов П.Ф., Хом'як Е.А. 48

УДОСКОНАЛЕННЯ ПТК АСУТП ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА БЕЗПЕКИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕНЕРГОБЛОКУ У НЕШТАТНИХ РЕЖИМАХ

Бровко К.Ю., Буданов П.Ф., Хом'як Е.А. 50

РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ГУСТИНИ СТРУМУ ДЛЯ ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНИХ ПЕРЕРІЗІВ КАБЕЛІВ НАПРУГОЮ 10-35 КВ, ЩО З'ЄДНУЮТЬ ПОТУЖНІ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ

Буйний Р.О., Зорін В.В., Квицинський А.О. 52

СТОСОВНО МЕТОДИК РОЗРАХУНКІВ ПРИ СЕРТИФІКАЦІЇ БУДІВЕЛЬ

Булгаков О.В. 56

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ БАТАРЕИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ В ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМАХ

Бурлака В.В., Гулаков С.В., Поднебенная С.К. 58

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ У СИСТЕМІ ЗМІННОГО СТРУМУ ПРИ ВМИКАННІ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА У РЕЖИМІ ХОЛОСТОГО ХОДУ	
Волков О.Ю., Міщенко Т.М.	60
АКУМУЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В МІСЬКИХ МЕРЕЖАХ	
Воропай В.Г., Дьяков Є.Д.	61
ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНОГО ТЕПЛОАКУМУЛЮЮЧОГО МАТЕРІАЛУ ДЛЯ СТАБІЛІЗАЦІЇ ТЕМПЕРАТУРИ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ ПРИВАТНОГО ДОМОГОСПОДАРСТВА	
Галько С.В., Довгалюк О.М., Жарков А.В., Хромишев В.О.	63
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КЕРУВАННЯ РОБОТОЮ МІСЬКИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ	
Гаряжа В.М., Євсєєва Д.О., Кравченко Ю.П.	65
ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В МІСЬКИХ МЕРЕЖАХ	
Гаряжа В.М., Іленко К.С., Шляпніков О.Ю.	66
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОЗПОДІЛЬЧИХ МЕРЕЖ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ	
Горбенко М.В.	67
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА УСТАНОВКА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОННИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛІВ	
Грініна В.О., Рой В.Ф.	69
ПРОБЛЕМИ ТЕЛЕМЕХАНІЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІТИЧНИХ КОМПЛЕКСІВ	
Грініна В.О., Рой В.Ф.	71
ТОЧНІСТЬ ОБЛІКУ РЕАКТИВНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ СТАТИЧНИМИ ЛІЧИЛЬНИКАМИ	
Грініна В.О., Момот В.В., Рой В.Ф.	73
ВИЯВЛЕННЯ АКУСТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОРОННОГО РОЗРЯДУ	
Гриб О.Г., Дем'яненко Р.І., Карпалюк І.Т.	75
МОНІТОРИНГ ЯКОСТІ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ ЗА УМОВИ ЦИФРОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ	
Гриб О.Г., Дем'яненко Р.І., Карпалюк І.Т.	76
МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ В ПРОСТОРОВО-ЧАСОВИХ КООРДИНАТАХ	
Громов О.О.	77

АНАЛІЗ РОЗПОДІЛУ СТРУМУ В ТЯГОВІЙ МЕРЕЖІ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД КІЛЬКОСТІ ПІДКЛЮЧЕНИХ ВІДСМОКТУЮЧИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ	
Данилов О.А., Коршун В.В.....	78
АНАЛІЗ ВПЛИВУ РЕЖИМІВ РОБОТИ ТЯГОВОГО ВИПРЯМЛЯЧА НА ЯКІСТЬ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ	
Данилов О.А., Кравець О.В.	79
ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ В ТЯГОВІЙ МЕРЕЖІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ПРИ КОРОТКИХ ЗАМИКАННЯХ	
Данилов О.А., Рябков К.А.	80
АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ ОБЛАДНАННЯ ТЯГОВИХ ПІДСТАНЦІЙ УКРАЇНИ	
Данилов О.А., Чижик А.А.....	81
АНАЛІЗ НЕДОЛІКІВ СУЧАСНИХ МІКРОПРОЦЕСОРНИХ СИСТЕМ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ТА ПРОТИАВАРІЙНОЇ АВТОМАТИКИ	
Довгалюк О.М., Мірошник К.А.	83
ОСОБЛИВОСТІ ВИНИКНЕННЯ РЕЗОНАНСНИХ ПЕРЕНАПРУГ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ	
Довгалюк О.М., Піротті О.Є., Шевченко С.Ю.	86
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ 0,4 КВ	
Довгалюк О.М., Саїдов Ш.Н., Яковенко І.С.	88
РОЗРОБКА ОПТИМАЛЬНИХ СХЕМНИХ РІШЕНЬ ОПОРНИХ ТЯГОВИХ ПІДСТАНЦІЙ	
Дражко С.О., Косарєв Є.М.....	90
ВПЛИВ УДАРІВ БЛИСКАВКИ НА ПОВІТРЯНІ ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ	
Дривецький С.І., Шевченко С.Ю.	92
СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ГЕНЕРАТОРА НАНОСЕКУНДНИХ ІМПУЛЬСІВ	
Дроздов А.М., Зайцев Р.В., Кіріченко М.В., Хрипунів Г.С.....	93
ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПОЛІВ ШИНОПРОВІДІВ	
Дьяков Є.Д., Сиромятнікова Т.В.....	94
УДОСКОНАЛЕННЯ ОХОЛОДЖЕННЯ ТЯГОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ ЕЛЕМЕНТАМИ ПЕЛЬТЬЄ	
Єгоркин В.Г., Полях О.М.....	95
ІМІТАЦІЯ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОТЯГОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ ПРИ ПАКЕТНОМУ РУСІ ШВИДКІСНИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПОЇЗДІВ З ВРАХУВАННЯМ ВИПАДКОВОГО ХАРАКТЕРУ НАПРУГИ	
Єсипенко О.В.	97

ЕНЕРГООПТИМАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕВІЗНОГО ПРОЦЕСУ Єфремова К.Р.	98
УДОСКОНАЛЕННЯ ФІЛЬТРО-КОМПЕНСУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИСТЕМІ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗМІННОГО СТРУМУ Жаботинський А.О., Косарев Є.М.	100
ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНИЧНО ДОПУСТИМИХ ЗНАЧЕНЬ ПОКАЗНИКІВ ІЗОЛЯЦІЇ ВИСОКОВОЛЬТНИХ МАСЛОНАПОВНЕНИХ ВВОДІВ МЕТОДОМ МІНІМАЛЬНОГО РИЗИКУ Загайнова О.А., Шутенко О.В.	101
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОЇ РОБОТИ ТЯГОВОЇ МЕРЕЖІ ПРИ ПАРАЛЕЛЬНІЙ РОБОТІ З АЛЬТЕРНАТИВНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ СТРУМУ Івахненко М.Р.	103
МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМУ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ В ЕЛЕКТРОТЯГОВІЙ МЕРЕЖІ СИСТЕМИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ Івашенко О.І., Міщенко Т.М.	104
ІДЕНТИФІКАЦІЯ ТА ОЦІНКА ВПЛИВУ ДЖЕРЕЛ ВИКРИВЛЕННЯ НАПРУГИ В ТОЧЦІ ЗАГАЛЬНОГО ПРИЄДНАННЯ НА БАЗІ SMART GRID Калюжний Д.М., Саєнко Ю.Л., Свергуненко С.В.	105
ПОХИБКА ІДЕНТИФІКАЦІЇ ДЖЕРЕЛ СПОТВОРЕННЯ СИМЕТРІЇ НАПРУГ В ТРИФАЗНІЙ ЧОТИРЬОХПРОВІДНІЙ МЕРЕЖІ Калюжний Д.М., Саєнко Ю.Л., Свергуненко С.В.	106
ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ В ЕЛЕКТРИФІКОВАНІЙ ДІЛЯНЦІ СИСТЕМИ ЗМІННОГО СТРУМУ З ВРАХУВАННЯМ ВИПАДКОВОГО ХАРАКТЕРУ НАПРУГИ Кондратюк Є.В., Міщенко Т.М.	107
ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРИЧНИХ ВЕЛИЧИН СИСТЕМИ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ Косарев Є.М., Пауков Д.М.	108
ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ МЕТОДУ ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЄМНОСТІ ШЛЯХОМ ВИЗНАЧЕННЯ ПОСТІЙНОЇ ЧАСУ РОЗРЯДУ КОНДЕНСАТОРА Костюков І.О.	110
КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРОИТЕЛЬНО- МОНТАЖНЫХ РОБОТ ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ КОНТАКТНОЙ СЕТИ Кузнецов В.Г., Сыровец А.В.	112

ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ НЕТЯГОВИХ СПОЖИВАЧІВ

Кузнецов В.В., Сиченко В.Г. 113

АЛГОРИТМ ПОБУДОВИ ДИСКРИМІНАНТНИХ ФУНКЦІЙ ПРИ РОЗДІЛЕННІ НА ДЕКІЛЬКА ДІАГНОЗІВ

Кулик О.С., Шутенко О.В. 115

АКТИВНА ПІДСТАНЦЯ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Мальгівський Р.В. 117

РЕЖИМ ПОЛНОЇ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ МОЩНОСТІ В ЕЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ С УЧЕТОМ СВОЙСТВ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Машин А.Д., Степанчук М.С., Ягуп В.Г., Ягуп Е.В. 118

ОСОБЛИВОСТІ РЕЖИМУ ОХОЛОДЖЕННЯ ПОЛІЕТИЛЕНОВОЇ ІЗОЛЯЦІЇ ВИСОКОВОЛЬТНИХ СИЛОВИХ КАБЕЛІВ

Мірчук І.А. 120

ЗАПРОВАДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ НА ПІДПРИЄМСТВІ

Мітін А.В. 121

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РЕЖИМУ «ВІДРИВ-ТОРКАННЯ» СТРУМОПРИЙМАЧА НА СТРУМОРОЗПОДІЛ У ФІДЕРНІЙ ЗОНІ СИСТЕМИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Міщенко Т.М., Сердюк К.С. 122

МОДЕРНИЗАЦІЯ СЕТЕЙ ЕЛЕКТРОСНАБЖЕННЯ ПРИ ПОМОЦІ ТЕХНОЛОГІЇ «SMARTGRID»

Мирошник А.А., Сивенко М.М. 124

СИСТЕМА ЖИВЛЕННЯ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ ТЯГОВОЇ ПІДСТАНЦІЇ З ЗАСТОСУВАННЯМ СОНЯЧНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ

Новіков С.А. 127

УДОСКОНАЛЕННЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ОПОР КОНТАКТНОЇ МЕРЕЖІ В УМОВАХ ОДЕСЬКОЇ ЗАЛІЗНИЦІ

Олійник В.С., Полях О.М. 129

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ 10-35 КВ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МІСТ

Перепечений В.О. 130

ОПТИМІЗАЦІЯ СУМІСНОЇ РОБОТИ СПОЖИВАЧІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ ВІТРОВОЇ ЕНЕРГІЇ

Полях О.М., Сорокін А.Д. 132

ОПТИМІЗАЦІЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ВИТРАТ НА ВЛАСНІ ПОТРЕБИ ПРИ
ЗАСТОСУВАННІ ТЕПЛООВОГО НАСОСУ

Полях О.М., Холодовський І.О. 133

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОВІЗІЙНОГО КОНТРОЛЮ
КОНТАКТНИХ З'ЄДНАНЬ НА ТЯГОВИХ ПІДСТАНЦІЙ

Полях О.М., Циганко В.М. 135

ДІАГНОСТИКА СТАНУ ТРАНСФОРМАТОРНИХ МАСЕЛ З
ВИКОРИСТАННЯМ МОДЕЛІ МНОЖИННОЇ РЕГРЕСІЇ

Пономаренко С.Г., Шутенко О.В. 137

НАПІВПРОВІДНІ ПОКРИТТЯ ЯК ФАКТОР ПІДВИЩЕННЯ
ЕФЕКТИВНОСТІ РЕГУЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ В
СТАТОРНОЇ ОБМОТЦІ ВИСОКОВОЛЬТНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МАШИНАХ

Рогинський О.В. 139

АНАЛІЗ ЕФФЕКТИВНОСТІ ПРИМЕНЕННЯ КИНЕТИЧЕСКИХ
НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАГРУЗКИ
ПОТРЕБИТЕЛЯ

Савченко Н.А. 140

КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ
ТЯГОВОЇ ПІДСТАНЦІЇ ЗМІННОГО СТРУМУ

Ткаченко В.О. 141

РЕКОНСТРУКЦІЯ ПОВІТРЯНОЇ ЛІНІЇ 110 КВ

Федосеєнко О.М., Яковенко О.В. 142

РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНОЇ СИСТЕМИ
ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ СТАНУ ОБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ

Швець С.І., Шутенко О.В. 144

МЕТОД РАНЬОГО ВИЯВЛЕННЯ ДЕФЕКТІВ ВИСОКОВОЛЬТНОГО
МАСЛОНАПОВНЕНОГО ОБЛАДНАННЯ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ
ДИНАМІКИ КРИТЕРІЇВ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ДЛЯ
ІНТЕРПРЕТАЦІЇ РЕЗУЛЬТАТІВ АРГ

Шутенко О.В. 146

MODERN MEANS OF ELECTRIC NETWORKS AND SYSTEMS MODES CALCULATION

Bezкотnyi P.I.¹, Dovgalyuk O.M.², Privalov Yu.L.³, Yakovenko I.S.²

¹ Harbin institute of technology, China, Harbin

² National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Ukraine, Kharkiv

³ LCC «SPE «ENERGO-PLUS»

Electronic computer technology occupies one of the main places in solving a number of design and operational tasks in the energy sector today. Calculation and analysis of steady-state and transient electric networks and systems operation modes with high accuracy, as well as with little time, became possible with the information technology development and the computer technology expansion.

The tasks of calculating the electric networks and systems operating modes are very complex and multifactorial. The such calculations efficiency and accuracy depends on the software used, which implements various calculation methods and uses different options for visualization and presentation of calculation results. Various databases, together with software, are used to increase efficiency in solving a number of tasks related to the management, operation and design of electrical networks and systems. Software and computing systems (SCSs) are formed as a result.

A large powerful SCSs number for the calculation and modeling of processes that occur in electrical networks and systems are presented on the market today. The most famous of these SCSs are SDO-6, RastrWin, EnergyCS, PSS®E, DigSILENT PowerFactory, EUROSTAG, etc. Each of the presented SCSs has its own characteristics and is characterized by limitations. An the main SCSs analysis that are used in the energy sector to calculate the electric networks and systems modes, as well as to simulate steady and transient processes in them, was carried out.

The Rastr software package was developed over 30 years ago and operated on the the MS DOS operating system basis. This complex has a wide tasks range to be solved. The main ones are [1]: 1) calculation and analysis of the electrical networks and systems established modes; 2) the electric network circuit equivalent, the heavier mode and the search for the transmitted power limit; 3) reactive power optimization. The user-friendly interface, high speed, the ability to display a the electric network single-line graphical diagram, the ability to screen input and correct data, quickly turn off the circuit nodes and branches, the network zoning possibility, the Rastr software package have made one of the most popular calculating network modes means for specialists in the power industry in the countries former USSR.

The RastrWin software package for running Microsoft Windows was created, which led to a serious modernization of the SCS software architecture. In this case, all tasks for working with data and calculations in separate blocks were allocated,

built-in databases were developed, the user interface was also presented as a separate block with the data displayed in the form of tables, graphs, single-line diagrams, structural diagrams [2]. RastrWin SCS is designed for solving problems of electric networks and systems steady-state modes calculation, analysis and optimization. Among its distinctive features, it should be noted such: 1) the source information verification for logical and physical consistency; 2) equivalent electrical networks circuitry; 3) electrical networks optimization by voltage levels, power losses and reactive power distribution; 4) network coefficients calculation, which allow us to assess the impact of changes in input parameters on the calculation results, and vice versa, to analyze the sensitivity of calculation results to changes in input parameters.

PSS®E SCS (Power System Simulator for Engineering) was developed by the American company Power Technologies Inc. in 1976, SIEMENS company continues to be engaged in the software package development at the present time. This SCS allows you to produce [3]: 1) the calculation of the electric networks and systems elements parameters (power lines, power transformers, load nodes, reactive power compensation devices, etc.), the calculation of the power flows distribution in the electric network, the calculation and analysis of established modes; 2) calculation and analysis of symmetric and asymmetric short circuits (SC); 3) calculation of static and dynamic stability, system frequency analysis; 4) calculation of the optimal power distribution; 5) matrix eigenvalues analysis and modal analysis; 6) emergency conditions consequences analysis; 7) line throughput analysis; 8) equivalent network.

DIgSILENT PowerFactory SCS was developed by DIgSILENT GmbH (Germany). SCS capabilities include the following main functions [4]: 1) calculation of symmetrical and asymmetric steady-state modes, calculation of SC currents for single-phase, two-phase and three-phase arbitrary configuration electric networks of alternating and direct current; 2) modeling of station group regulators, primary regulators and frequency and active power automatic regulation; 3) voltage regimes analysis and reactive power reserves planning; 4) power system modes optimization and condition assessment; 5) electromagnetic and electromechanical transients modeling, static and dynamic stability calculations; 6) modeling and analysis of heavy and emergency modes; 7) calculation, modeling and coordination of relay protection and automation systems, power electronics devices, FACTS.

EUROSTAG SCS was developed by TRACTEBEL (Belgium, France). This complex can perform the following main functions [5]: 1) determination of the SC breaking time limit; 2) research of the power systems synchronization processes after major accidents; 3) definition of settings for emergency control systems, relay protection devices and automation; 4) analysis of the emergency disturbances causes and consequences in the power system; 5) analysis of the power system behavior under various emergency disturbances (voltage avalanche, large power plants synchronism loss, etc.).

The results of the considered SCSs analysis and comparison, which are used to calculate the electric networks and systems modes, are presented in table 1.

The using feasibility each of the SCSs is determined by the scope, the required functions volume, the result accuracy, the calculation results presentation form, etc. The analysis showed that for calculating and modeling steady-state modes and solving optimization problems for electric networks and systems it is convenient to use such SCSs as Rastr and SDO-6, for calculating SC currents and asymmetric modes it is advisable to use such SCSs as RastrWin and EnergyCS, and for to solve more complex problems of energy systems stability analysis, it is necessary to use such SCSs as PSS®E, DigSILENT PowerFactory, EUROSTAG, which have high accuracy and computational ability.

Table 1 - SCSs possibilities comparison for the calculation of electrical networks and systems modes and modeling

SCS name	SCS tasks						
	Steady-state modes calculation	Transient Calculation	Frequency analysis	Mode optimization	Calculation of SC currents	Static stability analysis	Dynamic stability analysis
Rastr	+	-	+	+	-	-	-
SDO-6	+	-	+	+	-	+	-
Energy CS	+	+	-	-	+	+	-
RastrWin	+	+	-	+	+	+	-
PSS®E	+	+	+	+	+	+	+
DigSILENT PowerFactory	+	+	+	+	+	+	+
EUROSTAG	+	+	+	-	-	+	+

References:

1. Неуймин В.Г. Комплекс «Rastr». Версия 3.4. / В. Г. Неуймин. – Екатеринбург: УНПП «УПИ-Энерго», 1999. – 93 с.
2. RastrWin3 - Документация пользователя [Online]: Официальный сайт разработчиков RastrWin. – Available: <http://www.rastrwin.ru/rastr/RastrHelp.php>.
3. PSS®E Siemens PTI [Online]. – Available: <http://regimov.net/content.php/81-programm>.
4. DigSILENT PowerFactory [Online]. – Available: <http://regimov.net/content.php/81-programm>.
5. EUROSTAG [Online]: – Available: <http://regimov.net/content.php/60-Eurostag>.

THE HYDROPOWER PLANTS ROLE IN PROVIDING A CAPACITY RESERVE IN THE TAJIKISTAN ELECTRIC POWER SYSTEM

Dovgalyuk O.M., Lazurenko O.P., Saidov Sh.N.

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Ukraine, Kharkiv

Ensuring reliable energy system operation is one of the important conditions for the economy stable development, as well as ensuring the Tajikistan Republic energy security.

Tajikistan has quite large energy reserves. Hydropower resources occupy a special place in this context. The potential for their generation is 527 billion kW·hour / year, which are currently used only 4-5% [1]. The main hydropower potential is concentrated in the Vakhsh and Pyanj river basins.

Hydroelectric power plants (HPPs) prevail in Tajikistan electric power system, accounting for 87.6% of the total electricity generation structure. Three thermal power plants (TPPs) operate in the basic mode of the Tajikistan electric power system, although their capacity is not enough to fully ensuring a steady and stable regime. More and more renewable energy sources (RESs) are being commissioned at present: solar photovoltaic stations, wind power plants, geothermal plants, small hydropower plants and others. This is especially true for covering the active power deficit in autonomous regions. The share of electricity generation by using RESs is less than 1%, but it has great prospects for further development, as shown by the data in Table. 1. [1]. The total installed capacity of power plants in the Tajikistan Republic is more than 5757 MW.

Table 1 - The RESs resources in Tajikistan, standard fuel million tons [1]

Resources	Gross potential	Technical potential	Economic potential
General hydropower	179.2	107.4	107.4
Including small HPPs	62.7	20.3	20.3
Solar power	4790.6	3.92	1.49
Biomass energy	4.25	4.25	1.12
Wind energy	16.3	10.12	5.06
Geothermal energy	0.04	0.04	0.04
Total (without large HPPs)	5020.595	38.63	27.95

The daily load schedule of Tajikistan electric power system is uneven. The electricity consumption structure for the Tajikistan Republic is presented in Fig. 1. Effective coverage of the energy system consumers needs the requires a

corresponding change in generation during the day. In addition, the power system generating capacity is insufficient to meet the estimated peak load due to the low water level in rivers during peak demand in the winter months.

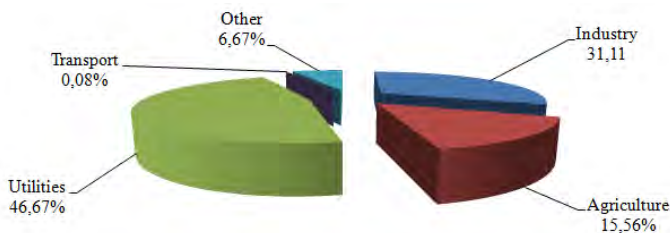


Figure 1 - The electricity consumption structure for the Tajikistan Republic

It is HPPs that act as maneuvering stations when covering the Tajikistan electric power system load schedule. They (except for the Nurek HPP) operate in the natural river regime and face a low inflow level in the winter period. It should be noted that the base capacity deficit and the insufficient reservoirs number forces the HPPs to operate in the basic mode as well, which was not initially envisaged. Such an approach to ensuring a capacity maneuverable reserve makes HPPs a very important element in the Tajikistan energy sector structure and requires special attention to ensure the reliability and efficiency of their functioning.

The largest HPPs in the Tajikistan Republic are the Nurek HPP on the Vakhsh river with a capacity of 3000 MW, the Baipazinskaya HPP with a capacity of 600 MW, the Sangtuda-1 HPP with a capacity of 670 MW, the Sangtuda-2 HPP with a capacity of 220 MW. In addition, a Vakhsh HPPs cascade with a total capacity of 285 MW was built and successfully operating on the Vakhsh river, a Varzob HPPs cascade with a total capacity of 25 MW on the Varzob river, a 126 MW capacity Kayrakkum HPP on the Syrdarya river, and a Pamir HPP on the Gunt river and the Pamir-1 HPP with a total capacity of 37 MW and others.

HPPs have high maneuverability and a large adjustment range, high load change rates, minimal time to gain power, start and stop units that perform the difficult task of covering the most complex peak and half-peak parts in the load schedule. The need to increase attention to the HPPs operation should be noted, given these HPPs characteristics, general trends in the global energy development, as well as priority areas for the Tajikistan Republic development [2].

The following measures adoption is advisable to increase the HPPs effective functioning in ensuring the energy balance of the Tajikistan electric power system:

- further hydropower potential development of Tajikistan large and small rivers;

- the automation tools introduction for the process of regulating the electric energy generation by HPPs, which will optimally load units, which will provide improved HPPs operational characteristics during their operation in the energy system;

- the using of energy storage systems to provide power accumulation with its subsequent use as balancing power;

- government stimulation of RESs development, including small HPPs.

Thus, the above measures will improve the using HPPs efficiency in balancing capacity while meeting the load demand in the Tajikistan Republic electric power system.

References:

1. Information site of the Tajikistan Energy Ministry [Online]. – Available: <https://www.mewr.tj/>
2. The medium-term development program of the Tajikistan Republic for 2016-2020.- Dushanbe, 2016. – 222 p.

УДК 621.31

INCREASING OF THE ELECTRIC TRANSPORT EFFICIENCY

Kovalev O.V., Kuznetsov V.G.

*Dnipro National University of Railway Transport named after Academician
V. Lazaryan, Ukraine, Dnipro*

Railway efficiency is an important topic worldwide for transportation ministers of fiscally strained governments and railway managers operating in competitive markets. On the one hand, railways are under pressure to keep costs low, often because of market pressures or because of the unavailability of public funds as a result of competing national priorities. On the other hand, increases in railway usage for passenger and freight have occurred after decades of decline, which necessitates additional investment in track infrastructure and rolling stock. Under pressure to reduce costs while improving rail's level of service and expanding rail capacity, railways and governments continue to look for ways to improve efficiency (International Transport Forum, 2013).

The EU enlargement, combined with globalization and growing competition, is driving the need for a better use of resources in the expanding transport sector. There

is considerable potential for increasing transport sustainability in terms of safety, traffic flow, efficiency, infrastructure protection and energy saving.

Energy consumption for passenger and freight transport has exploded together with transport demand in the last decades – worldwide as well as in Europe – putting heavy pressure on fossil fuel resources as well as increasing the emission of industrial greenhouse gases. Railways are very energy efficient compared to other modes of motorized transport mainly due to lower rolling and air resistance combined with a controlled driving pattern. In order to stay economically competitive and act socially responsible towards the environment, railways must increase their energy efficiency – not the least to enjoy a continued strong political support. Three main reasons for the railway sector to act now are (European railway energy roadmap: towards 2030):

1. Rising energy costs. The European railway networks are spending billions of Euros annually on energy and the energy costs have increased significantly over the last few years (more than 10% per year). The continued increase in oil prices to a level of 100 \$ per barrel underlines the necessity for improved energy efficiency, also because the electricity prices are highly influenced by the prices on coal, crude oil and gas.

2. Energy security & independency. Energy security is getting more important as well. More and more countries want to be independent of foreign energy supplies. Also for the railways, reducing the energy demand will reduce the dependency. In addition, with improved energy efficiency the railways in some cases could be able to accommodate more traffic growth before reaching the technical limits of the railway (electrified or non electrified) infrastructure (e.g. maximum power feed etc).

3. Climate protection. Climate change has become a strategic cornerstone for the railways. Railways are fortunate to run 80% on electricity in Europe but it is not possible for all industrial electricity consumers to switch to renewable energy sources at once. Therefore improved energy efficiency is vital when the railways want to achieve their individual CO₂ targets.

Energy saving on railway transport in the conditions of market economy is one of priorities of scientific and technical policy. Energy saving and rationalization of technological processes in all services and parts of railway transport can be considered as its main internal reserve in the short term.

It should be noted that for the last decades the circuitry of traction power supply systems radically changed, there are intellectual Smart-grid power supply systems, in modern traction systems of power supply there are electric power store devices, alternative source of power. All this demands the creation of methods of for calculating of the traction power supply systems adapted for new circuitry.

**FEATURES OF THE COMBINED TYPE DEFECTS RECOGNITION BY
DGA RESULTS OF THE OIL-FILLED EQUIPMENT****Kulyk O.***National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Ukraine, Kharkiv*

Analysis of dissolved gases in oil (DGA) is one of the diagnostic methods of high-voltage oil-filled equipment, which allows identifying up to 80% of all defects at an early stage. This method allows recognizing a number of defects, such as partial discharges, discharges with low and high energy density and local overheating with different temperature values. In real operation conditions in the equipment very often there are defects of the combined type, such as overheating, which pass into discharges or discharges, which are accompanied by heating. For such defects, the criteria values used to interpret the DGA results may correspond to different types of defects at the same time. This circumstance significantly complicates the recognition of such defects.

In [1] the analysis of DGA results of 34 power transformers is carried out. Discharges with overheating were detected in these transformers. The DGA results of these transformers were broken down into groups by type of real defect. As a result, 3 groups of defects were obtained for the analyzed equipment. These groups differ from each other by ranges of gases percentages and the values of the gases ratio. For these groups of defects, diagnostic results were obtained using different DGA interpretation standards. The IEC 60599 standards, the Duval triangle, the ETRA square, and the nomogram and graphic area method were used first. These methods are chosen because they use different criteria to recognize the type of defect. The IEC 60599 standard and the ETRA square use gas ratio values, the Duval triangle uses the percentages of the three gases CH₄, C₂H₄ and C₂H₂, and the nomogram method uses the values of gas concentration ratios to the gas with maximum concentration.

The obtained results of the comparative analysis of these methods allow asserting about different recognition reliability of defects by DGA results of the diagnosed equipment. Thus, the IEC 60599 standard in almost all cases did not allow establishing the correct diagnosis. The use of the Duval triangle and the ETRA square made it possible to establish quite different diagnoses for each group of defects. The nomograms method established the correspondence of the obtained graphic image with the reference graphic images for one of the groups of defects. For the other two groups, similar graphic images are not regulated by current standards.

Thus, it can be argued that the reliability of the diagnosis does not depend on the criterion used to recognize the defect type by various methods. It is determined solely by the limit values of the criteria and their relationship to the defect type.

References:

1. Шутенко О. В., Кулик О. С. «Діагностика оливнонаповненого устаткування з комбінованими дефектами за результатами аналізу розчинених в маслі газів» //Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2019. – №. 203. – с. 39-42.

STUDIES OF THE GLOBAL SITUATION IN THE FIELD OF ELECTRICITY GENERATION ON RENEWABLE ENERGY SOURCES

Zaitsev R.V., Minakova K.O.

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Ukraine, Kharkiv

After the world felt the whole danger of nuclear energy and became infected with the idea of getting energy from renewable sources, such as sunlight and wind, a river of funding surged in that direction. The effect was not long in coming: in two decades, the efficiency of solar panels, battery power and reliability of wind generators increased sharply, and their cost decreased significantly.

Today, many calls solar energy the energy of the future, and many companies make significant investments in the construction of such power plants. Modern solar cells are able to operate without additional investment for decades and, in our opinion, in the long term, the electricity generated in this way will become not only cost-effective, but also extremely profitable.

Renewable energy sources (RES), which are usually attributed to the energy of the sun, water, wind, biomass, demonstrate a positive dynamic in the share in the global energy balance.

This is due to the following circumstances:

- the fight against global warming is becoming more and more systematic. The Paris Climate Change Agreement outlines specific measures to reduce greenhouse gas emissions;
- the development of electricity generation based on renewable energy sources has targeted support from states, tariff and tax incentives allow competing with generation based on traditional energy sources;
- the cost of photovoltaics (the main technology of power generation using solar panels) is reduced - the cost of solar panels in the world is reduced by 10% annually.

Solar energy is considered the most promising direction of the energy industry, since in recent years, market prices for solar modules have significantly decreased, and their efficiency has been increasing.

According to the statistical report of British Petroleum [1], by the end of 2017, the total installed power of solar power plants built and commissioned worldwide exceeded 400 GW (Fig. 1).

This power is generated at the expense of 301 500 solar power plants (SPP). It is noteworthy that 48% of them are in Asia. The indicator of the total installed power demonstrates stable positive dynamics over a long period. According to the report of the International Energy Agency [2], in 2018-2019 this figure will increase by 100-150 GW per year.

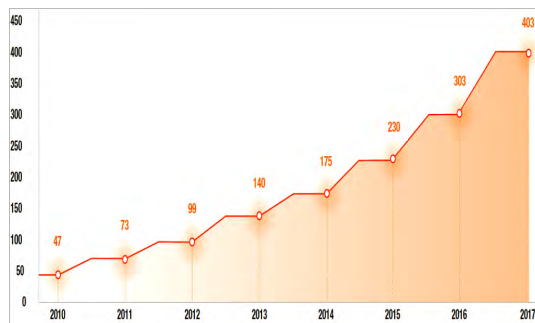


Figure 1 – The dynamics of the total installed power of solar power plants in the world, GW

Intensification of growth in the number of SPP and increasing the share of energy generated by them in the overall balance - a problem that is solved on the level of state policy. As a rule, the cost of renewable energy generation exceeds the cost of energy from traditional sources, and it is possible to bring new players to the market only with systemic support from states.

Over the past 10 years, the leading positions in SPP-based power generation have belonged to Germany and Italy; however, thanks to the implementation of large-scale programs to stimulate solar energy, the list of leaders has been expanded by countries such as China, the USA and Japan.

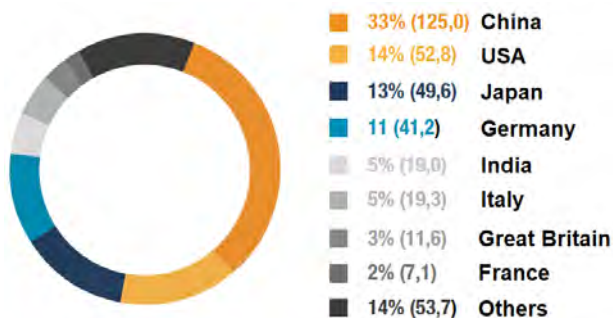


Figure 2 – Geographical structure of power generation based on SPP as of the end of 2017, GW

A renewable energy incentive policy exists in 85 countries. Moreover, programs in this area are being developed both at the national level and at the level of individual regions and territories. Typology of measures varies from preferential rates and loans to training and internships.

References:

1. British Petroleum Outlook. 2018 Edition. <http://bp.com/energyoutlook>.
2. International Energy Agency. World Energy Outlook 2018. <https://www.iea.org>.

ОСОБЛИВОСТІ БЕЗПЕРЕРВНОГО КОНТРОЛЮ ВМІСТУ ГАЗІВ У ВИСОКОВОЛЬТНОМУ МАСЛОНАПОВНЕНОМУ ОБЛАДНАННІ

Абрамов В.Б.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут ім. Ігоря Сікорського», Україна, м. Київ

Згідно найбільш визнаним рекомендаціям по розробці систем моніторингу маслonaповненого обладнання [1], результати хроматографічного аналізу розчинених у маслі газів є одним з параметрів, рекомендованих до безперервного контролю. В даний час провідними світовими енергокомпаніями [2] розроблені і широко використовуються системи моніторингу стану силових трансформаторів, до складу яких входять датчики, що дозволяють визначати вміст газів у маслі в режимі реального часу (наприклад, Callisto, E-20, TNU, HYDRAN, True Gas, TRANSFIX та ін). Залежно від типу датчика і класу системи моніторингу визначається або частковий, або повний вміст розчинених в маслі газів. В табл. 1 наведено характеристики датчиків, що використовуються для моніторингу результатів АРГ.

Таблиця 1 – Характеристики датчиків, що використовуються для моніторингу результатів АРГ

Компанія	Модель	Гази, що визначаються	Тип детектора	Обмеження
Morgan-Schaffer	<i>Callisto</i>	H ₂ , H ₂ O	TCD	-
GE Energy	<i>Hydran</i>	H ₂ , CO, C ₂ H ₂	FC	Комбінований сигнал
Unisensor	<i>E-200</i>	C ₂ H ₂ , H ₂	IR+FC	Невеликий досвід використання
Morgan-Schaffer	<i>Snake test</i>	Все	GC	Не безперервний
GE Energy	<i>TNU</i>	Все	FTIR+FC	Ціна
Serveron	<i>True Gas</i>	Все	GC	Невеликий досвід використання
Kelman Ltd.	<i>TransFix</i>	Все	FAS	-

Примітка: TCD – термічна провідність; FC – паливна комірка; IR – інфрачервоний метод; GC – газовий хроматограф; FTIR – інфрачервоне перетворення Фур'є; FAS – фотоакустична спектроскопія

Завдання одержання результатів контролю – відділення газів від масла з подальшим селективним визначенням концентрацій кожного з розчинених газів

у приладах «он-лайн моніторингу» (ОЛМРГ) вирішується іншими, ніж під час лабораторних випробуваннях, методами. І тут основною виявляється вимога до селективності вимірювальних органів (датчиків). Відносно просто селективність забезпечується для водню і досить проблематично для інших, необхідних для контролю газів.

Різниця процедур і способів реалізації контролю розчинених в маслі газів при «он-лайн моніторингу» (ОЛМРГ) і лабораторних випробуваннях стало причиною у ряді випадків, що відзначилися, помітних відмінностей при кількісному порівнянні результатів одного та іншого контролю. Детальне дослідження цього було виконано робочою групою D1.01 (TF 15) SIGRE за підсумками аналізу даних «раунд робін тесту» (брало участь 19 лабораторій з 12 країн), що дозволив порівняти для понад 300 випадків свідчення від різних типів приладів ОЛМРГ та отриманих при ХАРГ. Зроблено висновок, що більшість приладів ОЛМРГ хоча і забезпечували похибку вимірювань гіршу, ніж вказують виробники, проте відповідну ІЕС 60567, тобто не більше $\pm 15\%$. Але для деякої частини їх (навіть в межах одного типу) похибка перевищувала допустиму, досягаючи $\pm 30\%$ і більше. Тому була запропонована процедура оцінки фактичної похибки використовуваних приладів ОЛМРГ, а значить – можливості спрогнозувати відповідність їх показань результатами ХАРГ.

Серед причин, що призводять до відмінностей у числових значеннях вимірювань ОЛМРГ, зазначалися вплив атмосферних умов, коливань температури, відмінностей масел при калібруванні і в експлуатації, особливостей експлуатаційних масел. Ймовірно, перераховані причини слід було б доповнити і тим, що виникнення дефектів у контрольованому електрообладнанні супроводжується генерацією не тільки газів, регламентованих для цілей діагностування, але й іншими, подібними для реакції датчиків газами, а також, що можлива зміна в часі параметрів вилучення газів з масла. Таким чином, більш правильним буде застосовувати прилади ОЛМРГ для виявлення аномалій газоутворення з подальшим діагностуванням їх за ХАРГ.

Список використаних джерел:

1. C57.143-2012. IEE Guide for Application for Monitoring Equipment to Liquid-Immersed Transformers and Components. – 2012. – 83 p.
2. Живодерников С.В., Овсянников А.Г., Руссов В.А. «Зарубежный опыт мониторинга состояния маслонаполненного оборудования» // Материалы четвертого научно-практического семинара Общественного Совета специалистов Сибири и Востока по проблемам мониторинга трансформаторного оборудования и диагностики электрических установок, Белокуриха, 20-24 апреля 2009. – Новосибирск, ЦПРО, 2009. – С. 7–22.

ВЫЧИСЛЕНИЕ МОЩНОСТИ В ЦЕПИ С ВЕНТИЛЬНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ ПРИ ЕЁ МОДЕЛИРОВАНИИ

Абуджох Х.Дж., Марко С.А., Сенько А.С., Ягуп В.Г., Ягуп Е.В.

*Харьковский национальный университет городского хозяйства
им. А. Н. Бекетова, Украина, г. Харьков*

Рассматривается проблема неравенства мощностей отдаваемой источником и потребляемой нагрузкой в системе с нелинейными элементами [1]. Такое неравенство противоречит общеизвестному закону баланса мощностей [2, 3]. В рассматриваемом случае такая система состоит из резистивной нагрузки, питаемой через идеальный электрический вентиль от источника синусоидального напряжения с единичной амплитудой. В исследуемой системе токи и напряжения подвержены искажениям синусоидальной формы, что обусловлено с одной стороны, нелинейностью вольт-амперных характеристик электрических вентиляй, с другой стороны, возможностью управления моментами отпирания и запирания управляемых вентиляй.

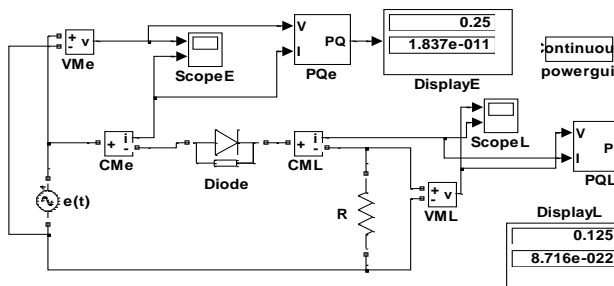


Рисунок 1 – Модель системы с виртуальными PQ-измерителями мощности SPS

Установлено, что моделирование в системе SimPowerSystem такой системы измерения мощностей в источнике и нагрузке при помощи PQ-измерителей мощности также приводит к аналогичным неадекватным результатам.

В результате анализа структуры стандартного виртуального измерителя PQ-мощностей системы SPS можно прийти к выводу, что он фактически измеряет мощности, обусловленные основными гармониками напряжения и тока. Следовательно, стандартный виртуальный измеритель PQ-мощностей обеспечивает адекватные показания лишь при синусоидальных напряжениях и токах, создающих мощность на переменном токе, а его применение к системам с нелинейными элементами приводит к ошибочным результатам.

Для измерения мощности в нелинейных системах разработан виртуальный измеритель мощности, основанный на использовании мгновенной мощности элемента (рис. 2).

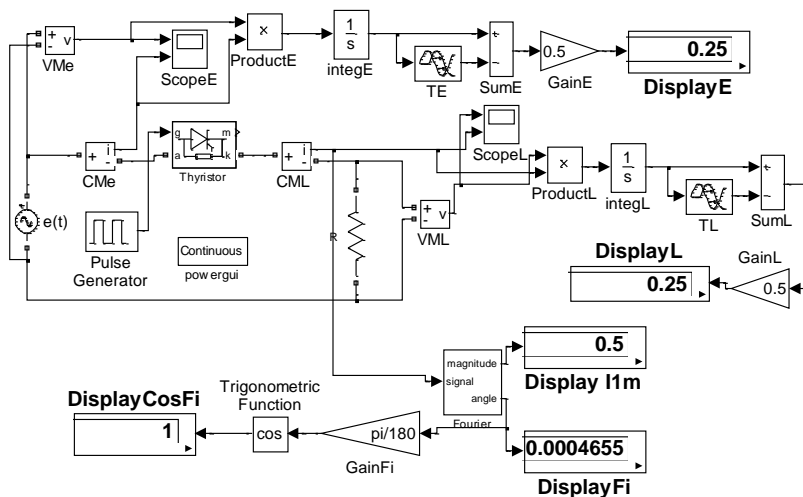


Рисунок 2 – Модель системы с виртуальными измерителями мощности на основе мгновенных мощностей

Переменная мгновенная мощность интегрируется, а затем передается на звено задержки, что обеспечивает вычисление определенного интеграла на соответствующем интервале.

С использованием такого измерителя проведено моделирование системы с тиристором при изменении угла управления. В результате значения, полученные при использовании мгновенной мощности для оценки генерируемой и потребляемой мощностей, не отличаются.

Список использованных источников:

1. Долбня В.Т. Об одном парадоксе, возникающем при анализе цепей с выпрямителями (в порядке обсуждения) // Науково-технічний журнал “Електроінформ”, “Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика”. – Львів: ЕКОінформ, 2009. – С. 448–451.
2. Крогерис А.Ф. Мощность переменного тока / А. Ф. Крогерис, К.К.Рашенин, С.И.Трейманис – Рига: Физ.-энерг. Ин-т Латв.АН, 1993.– 294 с..
3. Тонкаль В.Е. Баланс энергии в электрических цепях / [В.Е. Тонкаль, А.В. Новосельцев, С.П. Денисюк и др.] – Киев: Наукова думка. – 1992. – 312 с.

ЭНЕРГОГЕНЕРИРУЮЩАЯ ПЛАТФОРМА С МУЛЬТИПЛИКАТОРОМ НА ОСНОВЕ ПРЯМОЗУБЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Аргун Щ.В., Гнатов А.В., Гнатова А.А., Дзюбенко А.А.

*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Украина,
г. Харьков*

Введение. Разработка новых возобновляемых источников экологически чистой электрической энергии (ЭЭ) является актуальной научно-технической задачей. Для её решения проводятся комплексные мероприятия, использующие методы и способы преобразования различных видов энергии в электрическую. При этом особое внимание уделяется автономным децентрализованным источникам зеленой энергии. А именно, устройствам, которые можно устанавливать в местах с высокой плотностью пешеходов. Именно благодаря пешеходам, передвигающимся по таким устройствам, генерируется ЭЭ [1 – 3].

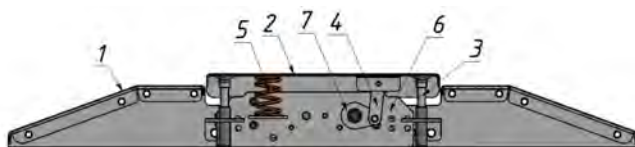
В данной работе представлен один из вариантов технического решения энергогенерирующей платформы (ЭП), которую можно рассматривать как малоомощный возобновляемый источник электропитания [4]. Проведены экспериментальные исследования процесса генерирования электроэнергии ЭП в зависимости от количества и схем подключения электрогенераторов к ее электромашинному узлу. Такая платформа имеет компактные габаритные размеры и предназначена для установки в местах с большой проходимостью людей. При этом она может быть установлена как внутри помещения, так и снаружи. Для проведения экспериментальных исследований был разработан опытный образец ЭП. Электромашинный узел ЭП может работать с одним или двумя электрогенератором - шаговыми двигателями (ШД). При выполнении шага на ЭП идет процесс генерации электроэнергии, который заключается в преобразовании кинетической энергии шага в электрическую.

Целью работы является исследование процесса генерирования возобновляемой электроэнергии ЭП на базе мультипликатора с прямозубыми зубчатыми колесами, в зависимости от количества и схемы подключения шаговых электродвигателей к ее электромашинному узлу.

В соответствии с разработанной конструкцией на базе мультипликатора с прямозубыми колесами была разработана конструкция ЭП, общий вид которой представлен на рис. 1.

Экспериментальные исследования. Конструктивные особенности разработанной ЭП позволяют проводить исследования в режиме генерации ЭЭ и отдельно каждого ШД, и при параллельном подключении двух ШД.

Производилось 3 серии измерений по 30 шагов на ЭП. В экспериментальных исследованиях принимало участие 5 человек с весом от 50 кг до 90 кг. Скорость ходьбы ≈ 5 км/ч. Измерение сигналов производилось при ходьбе как в прямом, так и в обратном направлении. Это сделано для того, чтобы по максимуму приблизить условия эксперимента к реальным условиям, где люди будут наступать на ЭП двигаясь в различных направлениях.



1 - корпус, 2 - нажимная крышка, 3 - направляющие, 4 - привод кривошипно-шатунного механизма; 5 - пружины, 6 - мультипликатор; 7 - приводное колесо кривошипно-шатунного механизма

Рисунок 1 – Общий вид ЭП

Результаты расчетов приведены в табл. 1, где k – коэффициент усиления, показывающий во сколько раз два ЭП с двумя подключенными ШД генерируют больше электроэнергии по сравнению с подключенным одним ШД.

Таблица 1 – Значение сгенерированной мощности

	Серия 1			Серия 2			Серия 3		
	1 ШД	2 ШД	k_1	1 ШД	2 ШД	k_2	1 ШД	2 ШД	k_3
P , Вт прямое	1891,78	3180,1	1,68	1915,1	3523,12	1,84	2175,9	3257,24	1,5
P , Вт обратное	1248,26	2006,46	1,61	1505,6	1596,49	1,06	1287,9	1968,87	1,53

Выводы. Анализ проведенных экспериментальных исследований и последующая обработка их результатов позволили определить, что использование двух ШД в электромашином узле ЭП увеличивает значение генерированной электроэнергии на ≈ 44 %. При этом необходимо учитывать направление движения пешеходов при нажатии на ЭП. Так, при прямом движении ЭП генерирует порядка 1,11 Вт от одного шага, а при обратном $\approx 0,62$ Вт. Такое расхождение объясняется конструктивными особенностями ЭП.

Список использованных источников:

1. Tong Y., Nengmin W. Urban Innovation Based on the Environmental Management // 2009 International Conference on Environmental Science and Information Application Technology. – IEEE, 2009. – Т. 1. – С. 132-136.
2. Andrey Gnatov. Joint Innovative Double Degree Master Program «Energy-Saving Technologies in Transport» / Andrey Gnatov, Shchasyana Argun, Olga Ulyanets // 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON) – May 29 – June 2, 2017. – Kyiv, Ukraine – P. 1203–1207.
3. Hnatov A. Energy saving technologies for urban bus transport / A. Hnatov, Shch. Arhun1, S. Ponikarovska // International Journal of Automotive and Mechanical Engineering. 2017. – №14(4). – С. 4649-4664. doi: <https://doi.org/10.15282/ijame.14.4.2017.5.0366>.
4. Пат. 121490 України, Н02К. Електромеханічний пристрій перетворення кінетичної енергії в електричну з мультиплікатором / Гнатов А. В., Аргун І. В., Дзюбенко О. А.; заявник та патентовласник Харківський нац. автом.-дорожн. ун.-т., Гнатов А. В. – № у 2017 05464; заявл. 02.06.2017; опубл. 11.12.2017, Бюл. №23.

**АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТЯГОВИХ
ПІДСТАНЦІЙ ЗА ФАЗОВИМИ ПОРТРЕТАМИ****Бабенко Р.І.***Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна, Україна, м. Дніпро*

Фазовим портретом досліджуваної системи називається сукупність фазових траєкторій для всіх початкових умов. Його можна розглядати як інтегральне різноманіття.

Оскільки при вивченні поведінки системи цікавляться насамперед стаціонарними рухами в системі, то фазовий портрет можна також розглядати як розбиття фазового простору на області тяжіння стаціонарних рішень.

Класифікацію характеру особливих точок системи рівнянь можна провести на підставі особливостей фазового портрета, оскільки як мінімум для деяких систем кожна особлива точка системи диференціальних рівнянь є також і особливою точкою в сенсі, уживаній в диференціальній геометрії. Зазвичай фазові портрети якось деформуються при зміні параметрів системи. Якісної зміни фазового портрету відповідає зникнення існуючих і народження нових стаціонарних рішень і така зміна фазового портрету називається біфуркаційною ситуацією. При вивченні фазового портрета цікавить перш за все загальна топологічна картина рухів на фазовій площині. У ряді наукових праць для аналізу енергетичних процесів в електричних колах використовується миттєва потужність, що на відміну від реактивної потужності має чіткий фізичний зміст, а саме: вона характеризує швидкість надходження в коло електромагнітної енергії в цей момент часу. Якщо для повної і реактивної потужностей не дотримується закон збереження, то для миттєвої потужності він дотримується, а також він буде дотримуватися для інтегральних форм, отриманих на основі миттєвої потужності. У будь-якому електричному колі миттєва і активна потужності будуть визначатися однозначно, чого не можна сказати, наприклад, про повну потужність у несиметричній багатофазній системі. Реактивна потужність у колах з несинусоїдальними струмами не тільки визначається неоднозначно, але й втрачає своє єдине призначення - бути зручною для розрахунку величиною. Однак, не вимагає окремого доказу той факт, що тягові мережі залізниць постійного струму одержують живлення із систем зовнішнього електропостачання, які здійснюють передачу електроенергії на змінному струмі (з різними номіналами робочої напруги) промислової частоти 50 Гц і подальше випрямлення цього струму по різних схемах (6-ти, 12-ти пульсова і т.д.) не забезпечує одержання постійного струму в системах тягового електропостачання в чистому вигляді, що разом з різного роду перехідними процесами, обумовлює в проводах тягової мережі виникнення гармонійних складових, що значно ускладнюють розрахунок енергетичних процесів.

УДК 621.311

ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧІ СИСТЕМИ ПРОЦЕСОМ ВИРОБІТКИ, ПЕРЕДАЧІ, РОЗПОДІЛУ І СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В УМОВАХ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ДЕЦЕНТРАЛІЗАЦІЇ ЕНЕРГОСИСТЕМ

Бакунець В.В., Корабльов М.О., Черевик Ю.О., Чернюк А.М.

Українська інженерно-педагогічна академія, Україна, м. Харків

Технологічний процес генерації, розподілу та споживання електричної енергії (ТП ГРС ЕЕ) досить складний і вимагає ефективних систем автоматичного і автоматизованого управління, які містять у собі елемент реєстрації та подальшої обробки даних. Це обумовлено тим, що електроенергія в промислових масштабах не може відпускатися «на склад», а повинна бути в реальному часі доставлена до споживача і перетворена в інші види енергії. Недотримання балансу виробленої і спожитої електроенергії призводить до порушення роботи енергосистеми аж до повного припинення технологічного процесу.

У процесі розвитку електроенергетичних систем України утворилася певна ієрархічна структура технологічного процесу генерації, розподілу та споживання електроенергії (ТП ГРС ЕЕ) з відповідним адміністративно-господарським поділом функцій. Ця структура має централізований вигляд.

Рисунок 1 – Структура енергоринку

Однак, з розвитком сучасних технологій розподіленої генерації електроенергії і демонополізацією енергетичної галузі, останнім часом намітилися чіткі тенденції до зміни вищевказаної ієрархічної системи розподілу електроенергії і фінансово-господарських відносин на даному ринку [2]. Все більшу частку генеруючих потужностей в комунально-побутовому секторі та об'єктах малого і середнього бізнесу (особливо аграрного) складають альтернативні джерела енергії, які в залежності від режиму енергоспоживання об'єкта можуть покривати потреби в електроенергії в повній мірі, мати надлишок енергії, що генерується або її недолік [3]. Відповідно цих режимів роботи кожен окремо взятий енергооб'єкт протягом часу може змінювати свою функцію, тобто виступати як джерело живлення або як споживач або працювати окремо від мережі і не брати участь в загальному ТП ГРС ЕЕ. Таким же чином змінюється структура адміністративно-господарського управління цією більш складною системою.

Таким чином постає нагальне науково-технічне питання розробки та впровадження нових систем обміну інформацією та керуючими впливами між учасниками децентралізованих енергетичних систем зі змінними функціями їх елементів.

В цьому напрямку перспективними технологіями є впровадження в децентралізованих системах технологій Smart Grid для роботи з потоком технічної інформації та технології Blockchain для фінансових операцій [4,5]. Ці технології вже мають позитивний досвід їх використання та практичної реалізації в децентралізованих енергетичних системах.

Технологія Blockchain працює за принципом розподіленого реєстру даних між всіма включеними в мережу пристроями за допомогою яких усі користувачі здійснюють передачу інформації. Це дозволяє уникнути ризиків втрати інформації оскільки вона доступна кожному учаснику мережі та зберігається у кожного з них. Тому втрачена інформація може бути відновлена в будь якому разі, коли хоча б один учасник її зберіг.

Отже впровадження даної технології є перспективним напрямком розвитку інформаційних систем в електроенергетиці оскільки за своєю суттю дана технологія відповідає концепції децентралізації систем (енергетичних в тому числі).

Список використаних джерел:

1. Енергетична стратегія України до 2030р. Схвалено розпорядженням Кабінету міністрів України від 24.07. 2013р. – №1074. – 167с.
2. Ю.Н. Кучеров, П.К.Березовский СИПРЭ: зарубежный опыт интеграции источников распределенной генерации в энергосистему. / Энергетика Татарстана. – №4 2013г. – С. 65-71.
3. Г.Г. Півняк, Ф.П. Шкребець Альтернативна енергетика в Україні. – Дніпропетровськ, НГУ, 2013р. – 109 с.
4. Обзор мировой электроэнергетики подготовленный PwC Блокчейн – новые возможности для производителей и потребителей электроэнергии? – 48с. – Электронный ресурс: www.pwc.com/utilities.
5. Равал С. Децентрализованные приложения. Технология Blockchain в действии. – СПб.: Питер, 2017. – 240 с.: ил.

**ТЕХНОЛОГІЇ УТВОРЕННЯ СТРУМОПРОВІДНИХ КАНАЛІВ У
АТМОСФЕРІ ДЛЯ СИСТЕМ УТИЛІЗАЦІЇ АТМОСФЕРНОЇ ЕЛЕКТРИКИ****Баранник Є.Я.¹, Петрів В. Р.²**¹ *Український комітет захисту від блискавки НТСЕУ, Україна, м. Київ*² *CEO компанії PoWeR POL Sp. z o.o., Польща*

Однією з умов реалізації проєктів утилізації атмосферної електрики (АЕ) є утворення струмопровідних каналів у атмосфері. Так, дослідження [1], проведені поблизу Нью-Мехіко, показали наявність поля напруженості у 1,87 кВ/см у грозовій тучі на відтинку у 1 км донизу від позначки у 5,77 км. Відбір електричної енергії від гідрометеорів може відбуватися як із застосуванням наземної установки так і з застосуванням літальних апаратів (ЛА). При цьому використання металевих струмопровідних систем може становити поважні перепони для повітряного руху. Натомість передача електричної енергії іонізованими каналами, утвореними у атмосфері має ті переваги, що можлива їхня тимчасова дезактивація для пропуску повітряних суден. Одним з можливих механізмів утворення таких каналів є використання лазерного випромінювання. До недоліків цієї технології можна віднести небезпеку для птахів, яку лазерні промені становитимуть у приземних шарах – у випадку застосування наземної установки утилізації АЕ. Від цього недоліку вільною є технологія відбору АЕ за допомогою принаймні двох ЛА. Опубліковані дослідження розподілу електричних зарядів у гідрометеорах отримано з допомогою балонів, переміщення яких у атмосфері мало довільний некерований характер. Натомість, за використання сучасних ЛА типу квадрокоптерів (4К) можливе більш докладне зондування атмосфери на предмет пошуку не лише вертикального, але також і горизонтального розподілу електричних зарядів, які спричиняють горизонтальні блискавки. На початкових стадіях можна очікувати на проведення досліджень за допомогою пари 4К, сполучених тонким сталевим дротом довжиною 300-500 м. Очікувана напруга за таких відстаней може становити від 56,1 до 93,5 кВ. На основі отриманих таким чином даних можна буде опрацювати оптимальний порядок використання АЕ: найперше для підзарядження ЛА, решту – для складування енергії всередині накопичувачів, встановлених на цих ЛА. Відомості про вертикальний та горизонтальний розподіл АЕ у гідрометеорах дозволять визначити технологію «жнив» (harvest): стабільне позиціонування двох ЛА на різних висотах (вертикальний розподіл) або їхнє синхронне переміщення від однієї до іншої зарядженої комірки. Якщо баланс споживання/накопичення АЕ цими ЛА дозволить підтримувати ще й лазерне випромінювання, можливий перехід до бездротової технології.

Список використаних джерел:

1. On the initiation of lightning in thunderclouds Ashot Chilingarian and others.
<https://www.nature.com/articles/s41598-017-01288-0>

ПРИВЕДЕННЫЕ И РАСЧЕТНЫЕ НАГРУЗКИ УЗЛОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Барбашов И.В., Догода А.В., Кныш А.Е., Омеляненко Г.В.

*Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»,
Украина, г. Харьков*

При анализе режимов электрических сетей используется понятие *приведенной нагрузки узлов электрической сети*, которое вводится с целью упрощения расчетных схем сетей, их математических моделей и сокращения объемов расчетов [1].

Приведенная нагрузка представляет собой алгебраическую сумму нагрузок, приложенных к шинам низшего и среднего напряжений силовых трансформаторов, и потерь мощности в их продольных сопротивлениях и поперечных проводимостях. Она считается включенной на шинах высшего напряжения узлов с трансформаторами, а сами трансформаторы исключаются из расчетной схемы [2, 3].

Для узлов электрической сети с *двухобмоточными трансформаторами* (рис. 1) приведенная нагрузка определяется по выражению:

$$\underline{S}_\Pi = \underline{S}_\Pi + \Delta \underline{S}_{\Gamma(Z)} + \Delta \underline{S}_{\Gamma(Y)},$$

где \underline{S}_Π – нагрузка на стороне низшего напряжения трансформаторов; $\Delta \underline{S}_{\Gamma(Z)}$ – потери мощности в продольных сопротивлениях схемы замещения трансформаторов; $\Delta \underline{S}_{\Gamma(Y)}$ – потери мощности в поперечных проводимостях схемы замещения трансформаторов.

Для узлов электрической сети с *трехобмоточными трансформаторами и автотрансформаторами* (рис. 2) приведенная нагрузка определяется по выражению:

$$\underline{S}_\Pi = \underline{S}_\Pi + \underline{S}_c + \Delta \underline{S}_{\Pi(Z)} + \Delta \underline{S}_{c(Z)} + \Delta \underline{S}_{\Pi(Z)} + \Delta \underline{S}_{\Gamma(Y)},$$

где \underline{S}_Π и \underline{S}_c – нагрузки на стороне низшего и среднего напряжений трансформаторов; $\Delta \underline{S}_{\Pi(Z)}$, $\Delta \underline{S}_{c(Z)}$, $\Delta \underline{S}_{\Pi(Z)}$ – потери мощности в продольных сопротивлениях схемы замещения трехобмоточных трансформаторов и автотрансформаторов (обмотках низшего, среднего и высшего напряжения); $\Delta \underline{S}_{\Gamma(Y)}$ – потери мощности в поперечных проводимостях схемы замещения трансформаторов.

Расчетная нагрузка узла определяется по выражению

$$\underline{S}_p = \underline{S}_\Pi + \sum \Delta P_{\Gamma(G)i} / 2 - j \sum \Delta Q_{\Gamma(B)i} / 2.$$

Таким образом, представление узлов электрической сети одного номинального напряжения некоторой расчетной нагрузкой \underline{S}_p приводит к тому, что схема замещения такой сети содержит лишь сопротивления продольных ветвей линий.

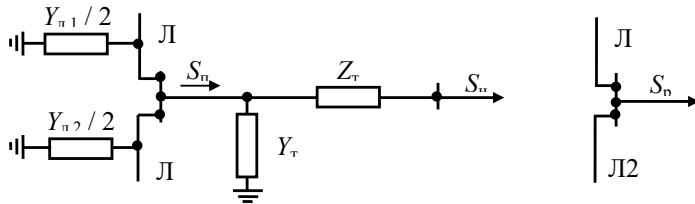


Рисунок 1 – Схема замещения узла электрической сети с двухобмоточными трансформаторами

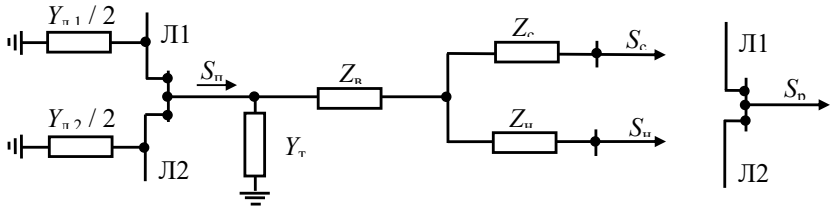


Рисунок 2 – Схема замещения узла электрической сети с трехобмоточными трансформаторами и автотрансформаторами

Использование расчетных нагрузок узлов приводит к определенной погрешности расчетов: расчетные нагрузки вычисляются до того, как выполнен электрический расчет, и фактические напряжения в обмотках низшего, среднего и высшего напряжений не известны. Поэтому потери мощности в продольных сопротивлениях обмоток трансформаторов (ΔS_T либо ΔS_n , ΔS_C и ΔS_U), а также потери активной и реактивной мощности в поперечных элементах трансформаторов (ΔP_x и ΔQ_x) и линий ($\Delta P_{кор}$ и $Q_{зар}$) определяются по некоторым напряжениям (например, номинальному напряжению сети высшего напряжения $U_{ном.сети}$ ВН либо номинальному высшему напряжению трансформаторов $U_{н.в}$), что приводит к определенной погрешности результатов расчета.

При уточненных расчетах электрических сетей [2, 3] необходимо учитывать нелинейные статические характеристики нагрузки $\underline{S}_n(U_n)$, $\underline{S}_c(U_c)$, а также нелинейность потерь мощности в продольных сопротивлениях обмоток (потери в меди) трансформаторов (ΔS_T либо ΔS_n , ΔS_C и ΔS_U), нелинейность поперечных элементов сети – потери активной и реактивной мощности в поперечных элементах (потери в стали) трансформаторов (ΔP_x и ΔQ_x) и линий ($\Delta P_{кор}$ и $Q_{зар}$) т. е. зависимость всех этих параметров от напряжения. Для этого следует воспользоваться статическими характеристиками ветви намагничивания трансформатора $\Delta P_x(U)$ и $\Delta Q_x(U)$.

Приведенная $\underline{S}_n(U)$ нагрузка узла электрической сети также будут иметь вид статических характеристик.

Для узлов электрической сети с двухобмоточными трансформаторами

$$\begin{aligned} \underline{S}_n(U) &= \underline{S}_n(U_n) + [\underline{S}_n(U_n) / U_n^{B_T}]^2 \underline{Z}_T + \underline{Y}_T(U_B) U_B^2 = \\ &= \underline{S}_n(U_n) + [\underline{S}_n(U_n) / U_n^{B_T}]^2 \underline{Z}_T + \Delta \underline{S}_x(U_B). \end{aligned}$$

Для узлов электрической сети с *трехобмоточными трансформаторами и автотрансформаторами*

$$\begin{aligned} \underline{S}_n(U) &= \underline{S}_n(U_n) + \underline{S}_c(U_c) + [\underline{S}_n(U_n) / U_n^B]^2 \underline{Z}_n + [\underline{S}_c(U_c) / U_c^B]^2 \underline{Z}_c + \\ &\quad + [\underline{S}_B''(U_n, U_c) / U_0^B]^2 \underline{Z}_B + \underline{Y}_T(U_B) \cdot U_B^2 = \\ &= \underline{S}_n(U_n) + \underline{S}_c(U_c) + [\underline{S}_n(U_n) / U_n^B]^2 \underline{Z}_n + [\underline{S}_c(U_c) / U_c^B]^2 \underline{Z}_c + \\ &\quad + [\underline{S}_B''(U_n, U_c) / U_0^B]^2 \underline{Z}_B + \Delta \underline{S}_x(U_B). \end{aligned}$$

В представленных формулах $\Delta \underline{S}_x(U_B)$ – комплекс мощностей ветви намагничивания трансформатора.

Дополнительную сложность при определении приведенных нагрузок узлов с двух-, трехобмоточными трансформаторами и автотрансформаторами создаёт необходимость учета всего диапазона изменений коэффициентов трансформации трансформаторов и автотрансформаторов, снабженных устройствами регулирования под нагрузкой (РПН) и переключения без возбуждения (ПБВ).

Удовлетворительное решение поставленной задачи анализа режимов электрических сетей с учетом реальных нелинейных характеристик их элементов может быть предложено в виде следующих расчетных операций – определение приведенных нагрузок узлов электрической сети для условий всех рассматриваемых установившихся режимов сети с учетом следующих положений:

а) для двух-, трехобмоточных трансформаторов – требований встречного регулирования напряжений на низшей стороне трансформаторов с помощью устройств РПН (напряжение U_n должно поддерживаться равным $1,05 U_{\text{ном.сети НН}}$ в режиме наибольшей нагрузки и $U_{\text{ном.сети НН}}$ в режиме наименьшей нагрузки и послеаварийных режимах для всего диапазона изменений коэффициентов трансформации трансформаторов);

б) для трехобмоточных трансформаторов, в дополнение к положению пункта а, должны выполняться требования стабилизации напряжений на средней стороне трансформаторов с помощью устройств ПБВ (напряжение U_c рационально поддерживать равным $(1-1,05) U_{\text{ном.сети СН}}$ во всех режимах);

в) для автотрансформаторов – требований обеспечения соответствующих значений напряжения на средней стороне автотрансформаторов с помощью устройств РПН (напряжение U_c должно поддерживаться равным $1,1 U_{\text{ном.сети СН}}$ в режиме наибольшей нагрузки и $U_{\text{ном.сети НН}}$ в режиме наименьшей нагрузки и послеаварийных режимах для всего диапазона изменений коэффициентов трансформации автотрансформаторов).

Список использованных источников:

1. Электрические системы. Электрические сети / В. А. Веников, А. А. Глазунов, Л. А. Жуков и др.; под ред. В. А. Веникова, В. А. Строева. – М.: Высш. шк., 1998. – 511 с.
2. Барбашов И.В. Общая характеристика и основы анализа установившихся режимов современных электрических систем и сетей : текст лекций / И.В. Барбашов. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2013. – 240 с.
3. Барбашов И.В. Расчет установившихся режимов разомкнутых электрических сетей в примерах и задачах : учеб. пособ. / И.В. Барбашов, Г.В. Омеляненко. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2018. – 164 с.

УТОЧНЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИВЕДЕННЫХ НАГРУЗОК УЗЛОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ С ДВУХОБМОТОЧНЫМИ ТРАНСФОРМАТОРАМИ

Барбашов И.В., Гайворонский С.В., Донец Б.И., Коблюк Я.Н.

*Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»,
Украина, г. Харьков*

Уточненное определение приведенных нагрузок узлов электрической сети с двухобмоточными трансформаторами выполняется в следующей последовательности (рис. 1)[1, 2]:

- в соответствии с требованиями встречного регулирования на низшей стороне трансформаторов напряжения U_n принимаются равными
 - в режиме наибольшей загрузки $U_n = 1,05 U_{\text{ном.сети НН}}$;
 - в режиме наименьшей нагрузки и послеаварийных режимах $U_n = U_{\text{ном.сети НН}}$;
- определяется мощность на низшей стороне трансформаторов

$$\underline{S}_n = P_n + jQ_n = S_n \cos \varphi_n + jS_n \sin \varphi_n;$$

- рассчитывается относительное напряжение на низшей стороне трансформаторов

$$U_n^* = U_n / U_{\text{ном.сети НН}};$$

- по типовыми обобщенными статическими характеристиками нагрузки по напряжению рассчитываются фактические значения мощности нагрузки на низшей стороне трансформаторов

$$\begin{aligned} P_n(U) &= [a_P + b_P U_n^* + c_P (U_n^*)^2] P_n; \\ Q_n(U) &= [a_Q + b_Q U_n^* + c_Q (U_n^*)^2] Q_n, \end{aligned}$$

где $a_P, b_P, \dots, c_Q, \dots$ – параметры аппроксимирующих функций;

- определяются коэффициенты трансформации трансформаторов с учетом всего диапазона ступеней устройств РПН $n_{\text{от.в } i}$

$$k_{\text{в-н } i} = U_{\text{н.в } i} / U_{\text{н.н}} = (U_{\text{н.в}} \pm n_{\text{от.в } i} \delta_{\text{в}}) / U_{\text{н.н}},$$

- находятся действительные напряжения на низшей стороне трансформаторов, приведенные к высшей стороне, с учетом всего диапазона ступеней устройств РПН

$$U_{\text{н}}^{\text{в}} = U_{\text{н}} k_{\text{в-н } i};$$

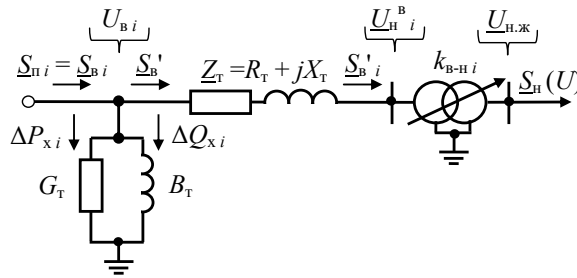


Рисунок 1 – Схема замещения двухобмоточных трансформаторов при уточненных расчетах

- вычисляются потери мощности в обмотках трансформаторов

$$\Delta \underline{S}_{Ti} = \Delta P_{Ti} + j\Delta Q_{Ti} = \{[(P_H(U))^2 + Q_H(U)^2] / (U_{Hi}^B)^2\} (R_T + jX_T);$$

- определяются мощности на высшей стороне трансформаторов с учетом потерь в обмотках

$$\underline{S}_{bi}' = P_{bi}' + jQ_{bi}' = \underline{S}_{hi} + \Delta \underline{S}_{Ti};$$

- рассчитываются продольные и поперечные составляющие падения напряжения в обмотках трансформаторов

$$\begin{aligned} \Delta U_{Ti} &= [P_H(U) R_T + Q_H(U) X_T] / U_{Hi}^B; \\ \delta U_{Ti} &= [P_H(U) X_T - Q_H(U) R_T] / U_{Hi}^B; \end{aligned}$$

- находятся напряжения на высшей стороне трансформаторов

$$\begin{aligned} \underline{U}_{bi} &= U_{Hi}^B + \Delta U_{Ti} + j\delta U_{Ti}; \\ U_{bi} &= \sqrt{[(U_{Hi}^B + \Delta U_{Ti})^2 + (\delta U_{Ti})^2]}; \end{aligned}$$

- вычисляются потери мощности в поперечных ветвях схемы замещения трансформаторов

$$\Delta \underline{S}_{xi} = \Delta P_{xi} + j\Delta Q_{xi} = G_T (U_{bi})^2 + jB_T (U_{bi})^2;$$

- определяются приведенные нагрузки узла электрической сети с двухобмоточными трансформаторами с учетом потерь в поперечных ветвях схемы замещения

$$\underline{S}_{pi} = P_{pi} + jQ_{pi} = \underline{S}_{bi} = \underline{S}_{bi}' + \Delta \underline{S}_{xi}.$$

Список использованных источников:

1. Барбашов И.В. Общая характеристика и основы анализа установившихся режимов современных электрических систем и сетей : текст лекций / И.В. Барбашов. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2013. – 240 с.
2. Барбашов И.В. Расчет установившихся режимов разомкнутых электрических сетей в примерах и задачах : учеб. пособ. / И.В. Барбашов, Г.В. Омеляненко. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2018. – 164 с.

ВОЛОКОННО-ОПТИЧНІ КАБЕЛІ - ЯК ПІДГРУНТЯ ДЛЯ ПОБУДОВИ ЦИФРОВИХ ПІДСТАНЦІЙ

Безпрозваних Г.В., Кессаєв О.Г.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Україна, м. Харків*

Сьогодні електрична підстанція - це пов'язані первинна силова і вторинна системи. Вторинна система об'єднує релейний захист, автоматику, управління, облік електроенергії і багато іншого. На фізичному рівні все це перетворюється в досить велику кількість пристроїв (вже, як правило, мікропроцесорних), пов'язаних *мідними кабелями* для живлення і передачі даних. Причому для передачі одного сигналу використовуються дві жили кабелю - позитивної і негативної полярності оперативного напруги. Металеві провідники передають величезну кількість перешкод, які можуть зашкодити мікропроцесорні пристрої або привести до їх неправильної роботи. Заміна електричних традиційних кабелів навіть на сучасні кабелі на основі витих пар (рис.1) в значній мірі вирішує проблеми з електромагнітної сумісності.

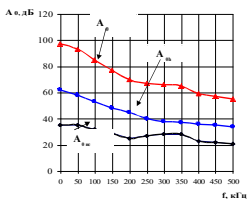


Рисунок 1 – Порівняльний аналіз частотних залежностей перехідного загасання на близькому кінці нескрученої (A_{0nc}) та скрученої (A_{0h} , A_{0c}) пар категорії 5е

Цифрова підстанція - це важлива і невід'ємна деталь більш складних структур, таких як "розумні" електричні мережі (Smart Grid) і системи. В цифровій підстанції передається величезна кількість даних. При класичній організації передачі даних можливість тиражування інформації обмежується на фізичному рівні: більше сигналів - більше кабелів і клем, складніше пристрої прийому і передачі даних. У випадку з цифровою підстанцією інформація може багаторазово дублюватися без будь-яких серйозних технічних труднощів. Широко розтиражована інформація відкриває додаткові можливості для роботи систем підстанції і дозволяє використовувати більш досконалі алгоритми управління і регулювання. Причому інформація, яка використовується в цих алгоритмах, оцифровується один раз перед виходом в мережу, а не в кожному інтелектуальному пристрої, як це відбувається на класичних підстанціях. Оптичні канали зв'язку, що побудовані на волоконно-оптичних кабелях, дозволяють вирішити проблеми, пов'язані з електромагнітною сумісністю, в тому числі і забезпечити несанкціонований доступ, тобто підвищується рівень кібербезпеки.

ІННОВАЦІЙНИЙ ПІДХІД ДО ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЯ ОДНОФАЗНИХ ЗАМИКАНЬ НА ЗЕМЛЮ В ПОВІТРЯНИХ МЕРЕЖАХ 6-35кВ ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ КОНЦЕПЦІЇ SMART GRID В УКРАЇНІ

Безручко В.М., Буйний Р.О., Ткач В.І.

Чернігівський національний технологічний університет, Україна, м. Чернігів

Вступ. В Україні майже всі електричні мережі середньої напруги (6-10кВ) працюють в режимі ізольованої нейтралі. Це забезпечує високу надійність електропостачання, оскільки мережа продовжує працювати з однофазним замиканням на землю (ОЗЗ).

Однак виникнення ОЗЗ в таких мережах призводять до утворення ненормального режиму роботи, у якому підвищується ймовірність утворення міжфазного короткого замикання та знеструмлення споживачів. Тому тривалість визначення місця ОЗЗ та його усунення важливо звести до мінімуму.

На сьогоднішній день сучасні способи пошуку місця ОЗЗ, що застосовують в Україні, дозволяють лише звузити зону пошуку. Після чого місце ОЗЗ визначається оперативно-виїзною бригадою (ОВБ) під час обходу повітряної лінії (ПЛ) та візуального огляду.

Мета роботи – огляд запропонованого авторами інноваційного способу виявлення місця ОЗЗ, яке утворюється через пробій штирової ізоляції на опорі ПЛ 6-10кВ та його інтеграція у існуючі системи автоматичного управління мережами.

Інноваційний пристрій. Пропонується встановити ідентифікатори ОЗЗ на металевий заземлюючий спуск кожної опори ПЛ. У [1] показано, що понад 47% ОЗЗ відбувається через штифтовий ізолятор, тому таке розміщення ідентифікатора дозволить відстежувати більшість пошкоджень.

На рис. 1 схематично зображено підключення пристрою до арматури заземлення опори ПЛ.

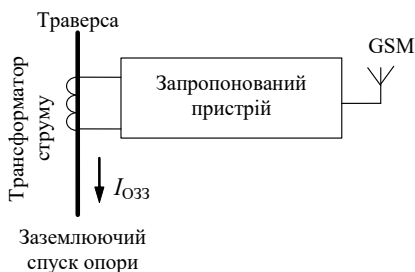


Рисунок 1 – Схема приєднання пристрою

Пристрій має трансформатор струму на своєму вході, через який і передбачається живлення пристрою під час ОЗЗ. Трансформатор струму виконується на тороїдальному осерді, первинною обмоткою якого є стрижень заземлення, вторинна обмотка підключається до блоку живлення пристрою. Детальну інформацію про принцип дії, будову, специфіку використовуваних та розрахунки можна знайти у роботі [2], а сам пристрій запатентований [3].

Створений прототип пристрою показав, що він може акумулювати енергію та відправляти повідомлення про пошкодження на диспетчерський пункт за 5-10 хвилин за струму ОЗЗ понад 2А. Зі збільшенням струму ОЗЗ час ідентифікації пошкодження зменшується.

Зона чутливості пристрою. Значення струму ОЗЗ через штиркову ізоляцію в електричній мережі 6-10 кВ можна обчислити за формулою, отриманою методом еквівалентного генератора:

$$I_{\text{ОЗЗ}} = \frac{U_{\text{Л}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{3 \cdot \omega \cdot C_{\text{ПЛ}}} \right)^2}}, \quad (1)$$

де $U_{\text{Л}}$ – діюче значення номінальної лінійної напруги ліній електропередачі; R – опір пошкодження в місці пробоя ізоляції; ω – кутова частота; $C_{\text{ПЛ}}$ – сумарна ємність електрично зв'язаних ПЛ, що включені від однієї секції шини центру живлення.

З наведеної формули видно, що найбільше значення струму ОЗЗ $I_{\text{ОЗЗ}}$ буде при $R = 0$. Однак, як правило, всі пробой через ізолятор повітряної лінії 6-10кВ мають певний опір. На рис. 2 показано, як змінюється струм ОЗЗ в місці пошкодження, коли опір змінюється від нуля до високих значень.

Запропонований пристрій може виявити місце ОЗЗ, проте він буде мати деяку зону нечутливості (рис. 2). За малих струмів ОЗЗ тривалість ідентифікації пошкодження може виявитися зовеликою.

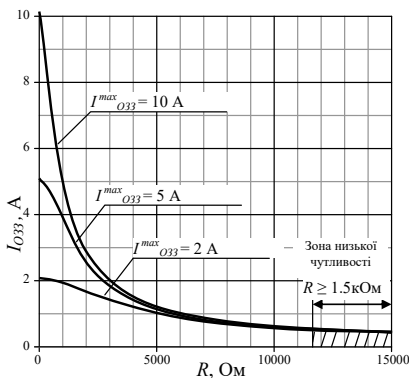


Рисунок 2 – Залежність струму ОЗЗ від опору пошкодження

Як видно з рис.2, зона низької чутливості починається від $R > 11,5 \text{ кОм}$.

Слід зазначити, що ОЗЗ в мережі з ізолюваною нейтраллю можуть носити нестійкий характер. У випадку достатньо тривалого пошуку ОЗЗ «традиційними» способами пошкодження може самоусунутися, а потім виникнути повторно через деякий час, що, як правило, призводить до затягування тривалості пошуку та збільшення витрат часу та ресурсів ОВБ.

Запропонований авторами ідентифікатор дозволяє виявити вищезазначені несправності, але для цього може бути витрачений невизначений час, особливо при замиканні з великим перехідним

Інтеграція в існуючі системи. Розглянемо існуючі інформаційно-керуючі системи, що використовують більшість операторів систем розподілу в Україні. Зокрема в АТ «Чернігівобленерго» на сьогодні існує кілька ізольованих одна від одної систем:

- автоматизована система комерційного обліку електроенергії;
- SCADA-система, яка використовується для контролю стану енергосистеми та відповідних вимірювань, а також для виконання необхідних комутаційних дій, сигналізації, тощо;
- ГІС-система – геоінформаційна комп'ютерна система для збору, зберігання, перевірки та відображення даних, пов'язаних з положеннями електромережних об'єктів на поверхні Землі з прив'язкою до їх координат.

У АТ «Чернігівобленерго» майже всі ПЛ 6-10кВ зі своїми ТП 10(6)/0,4 кВ вже додано до бази даних ГІС (рис.3). Ця система використовується для швидкої координації дій ОББ.

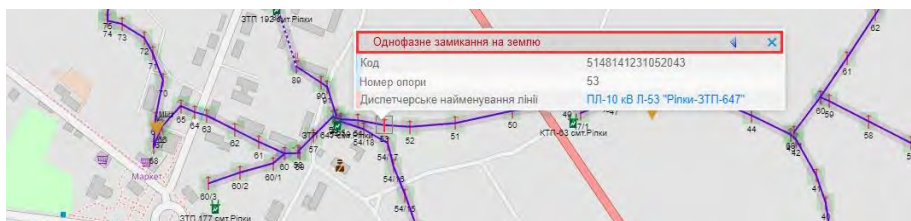


Рисунок 3 – Скріншот із ГІС-системи з прикладом повідомлення про пошкодження

Запропонований авторами ідентифікатор ОЗЗ дуже легко інтегрується до існуючої SCADA- та ГІС-системи через телекомунікаційне обладнання (GSM-модем, підключений до програмованого логічного контролера (ПЛК)). Запропонована схема показана на рис. 4.

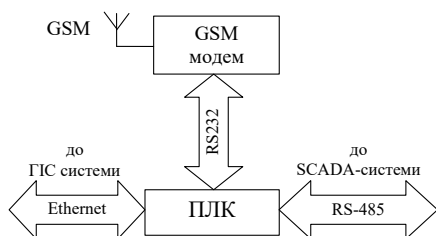


Рисунок 4 – Схема інтеграції пристрою в існуючі системи

Повідомлення, яке запропонований пристрій надсилає серверу, складається з унікального коду, який повинен знаходитися в базі даних і мати еквівалентну опору на лінії електропередач. Коли цей код надходить на сервер центру управління, відбувається дешифрація, де саме сталося ОЗЗ. Після цього дані можуть бути надіслані на основний сервер SCADA-системи, де дані будуть збе-

ргатися у журналі подій.

Дані також мають надходити до ГІС. Ця система може бути використана для візуального представлення даних про однофазні замикання на землю та їх місце. Експлуатаційний персонал може використовувати його для навігації під час виїзду на ремонтні роботи.

Використання інформації. Якщо запропонований пристрій встановлено в мережі, процес усунення ОЗЗ передбачається наступний.

У випадку виникнення в мережі ОЗЗ диспетчер оформлює усі необхідні допуски ОВБ на пошук пошкодження. За цей час, що займає не менше 10 хвилин, повідомлення від ідентифікатора надійде до ГІС-системи, на якій буде вказане точне місце пошкодження. Отримана від ГІС інформація дозволить ОВБ суттєво скоротити час пошуку та оперативно усунути пошкодження.

На рис. 3 показана частина плану смт. Ріпки з існуючої ГІС-системи з трасою ПЛ 10 кВ та прикладом повідомлення про ОЗЗ на опорі №53 від запропонованого авторами ідентифікатора.

Список використаних джерел:

1. Ткач, В. І. Вплив однофазних замикань на землю на експлуатаційні показники надійності повітряних ліній 6-10 кВ ПАТ «Чернігівобленерго» / В. І. Ткач, В. М. Безручко, Р. О. Буйний // Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2019. – № 1. – С. 120-126. – doi:10.20998/2413-4295.2019.01.14.
2. Безручко В.М., Буйний Р.О., Строгий А.Ю., Ткач В.І. Використання GSM технології при ідентифікації місць однофазних замикань на землю в електричних мережах з ізолюваною нейтраллю зі штирровою ізоляцією. Технічна електродинаміка. 2018. № 5. С. 96-99. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2018.05.096>.
3. Безручко В.М., Буйний Р.О., Строгий А.Ю., Ткач В.І. Пристрій для ідентифікації місць однофазних замикань на землю в електричних мережах з ізолюваною нейтраллю, заявка на патент України № 2018 03974.

ВPROBAДЖЕННЯ SMART GRID СИСТЕМ ДЛЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ ДОПОМІЖНИХ ПОСЛУГ НА ЕНЕРГОРИНКУ УКРАЇНИ

Бондаренко Р.В.¹, Довгалюк О.М.¹, Лежнюк П.Д.², Черемісін М.М.³

¹ Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Україна, м. Харків

² Вінницький національний технічний університет, Україна, м. Вінниця

³ Харківський національний технічний університет сільського господарства
ім. Петра Василенка, Україна, м. Харків

На сьогоднішній день енергетичний ринок України перебуває у перехідному етапі від застарілої моделі пулу до нової моделі двосторонніх договорів з балансуємим ринком (ДДБР). На шляху переходу ринок ДДБР зазнаватиме фундаментальних змін, таких як припинення централізованої диспетчеризації виробників, в результаті чого виробники почнуть більш активно діяти щодо укладання двосторонніх контрактів та стосовно надання вигідних заявок на балансуємий ринок. Зміни також стануться у процесі формування графіків покриття заявленого навантаження та диспетчеризації при їх забезпеченні, у керуванні небалансами потужності та регулюванні частоти в об'єднаній енергосистемі (ОЕС) України. Всі перелічені зміни метою ставлять створення ринку допоміжних послуг, структура якого затверджена [1] і представлена на рис. 1.



Рисунок 1 – Структура ринку допоміжних послуг

Відповідно до правил ринку [2] оператор системи передачі купує у постачальників допоміжних послуг необхідні допоміжні послуги і забезпечує їх надання постачальникам електричної енергії через оперативно-технологічного управління (ОТУ) для забезпечення сталої і надійної роботи ОЕС України та якості електричної енергії відповідно до встановлених стандартів. Постачальники допоміжних послуг повинні відповідати вимогам [2], бути зареєстрованими учасниками ринку та забезпечувати надійність і якість надан-

ня допоміжних послуг згідно з потребами і вимогами системного оператора відповідно до кодексу електричних мереж, правил ринку та інших нормативно-технічних документів. З урахуванням світового досвіду до постачальників допоміжних послуг слід віднести виробників електричної енергії, споживачів з керуванням навантаженням та трейдерів, які використовують системи накопичення енергії (СНЕ) великої потужності.

Ефективність роботи ринку допоміжних послуг буде залежати в першу чергу від якості та швидкості надання цих послуг. Системний оператор визначає необхідні обсяги допоміжних послуг на певний період, до переліку яких входять:

- резерв підтримання частоти або первинне регулювання;
- автоматичний резерв відновлення частоти або автоматичне вторинне регулювання;
- ручний резерв відновлення частоти або ручне вторинне регулювання;
- резерв заміщення або третинне регулювання;
- регулювання напруги та реактивної потужності;
- відновлення функціонування ОЕС України після системних аварій.

Для підвищення гнучкості та швидкості надання допоміжних послуг необхідно здійснити перехід від застарілих схем автоматики, що мають тривалий час відпрацювання циклів, до схем, реалізованих на мікроконтролерах та новітніх засобах моніторингу, контролю і обліку, тобто шляхом впровадження Smart Grid систем.

Впровадження технологій Smart Grid передбачає охоплення декількох напрямків: наукових досліджень і обґрунтувань, нормативно-правового, технологічного, технічного та організаційного. Кожен з цих напрямків має свої особливості для енергетики і забезпечує поетапне впровадження Smart Grid систем в діючу ОЕС України.

Впровадження Smart Grid систем в енергетику України надає ряд переваг ринку допоміжних послуг: забезпечення активної двонаправленої схеми обміну інформацією в реальному часі сприяє швидкості прийняття рішень щодо надання допоміжних послуг; комплексне охоплення ситуації на енергоринку сприяє прийняттю зважених рішень при багатокритеріальних задачах; використання цифрових комунікаційних мереж та інтерфейсів для обміну інформаційними даними сприяє підвищенню точності розрахунку та обліку параметрів тощо.

Таким чином, впровадження Smart Grid систем дозволить підвищити ефективність функціонування та надійність надання допоміжних послуг на енергоринку України.

Список використаних джерел:

1. Закон України «Про ринок електричної енергії» від 13.04.2017 № 2019-VIII. - Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19>.
2. Правила ринку. Постанова Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг № 307 від 14.03.2018. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0307874-18>.

АНАЛІЗ ВИЗНАЧЕННЯ ВТРАТ ЕНЕРГІЇ ВІД СТРУМІВ ВИТОКУ ПО ІЗОЛЯТОРАМ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ

Борзенков І.І., Данильченко Д.О., Шевченко С.Ю.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Україна, м. Харків*

У відповідності з ПУЕ, мінімальна довжина шляху струму витоку по ізоляторах нормується в залежності від ступеня забрудненості атмосфери (СЗА). Встановлено сім рівнів СЗА: до районів з I рівнем СЗА віднесені ліси, тундра, болота, луки тобто ті райони, які не попадають в зону впливу промислових і природних джерел забруднення; до районів з II рівнем СЗА - сільськогосподарські райони, в яких застосовуються хімічні добрива і хімічна обробка посівів; до районів з III - VII рівнями СЗА - райони з промисловими джерелами забруднення різної інтенсивності, що залежить від відстані від джерела, характеру та обсягів виробництва. Відповідно при збільшенні рівня СЗА має бути збільшено і число ізоляторів в гірлянді. Їх відношення для різних рівнів СЗА приблизно відповідає відношенню для ліній напругою 110 кВ і вище, число ізоляторів в гірлянді в районі з VII рівнем СЗА більше, ніж в порівнянні з I рівнем в 2,5 рази, а для ліній напругою 6-35 кВ - в 2 рази.

Значення напруги, що припадає на один ізолятор ліній, наведені в табл. 1 [1].

Таблиця 1 – Значення напруги, що припадає на один ізолятор

Рівень СЗА	Напруга, кВ, що припадає на один ізолятор на лініях номінальної напруги, кВ								
	6	10	20	35	110	220	330	500	750
1	3,5	5,8	5,8	6,7	10,6	10,6	10,6	11,6	11,2
2	3,5	5,8	5,8	6,7	9,1	8,5	10,0	10,7	10,4
3	3,5	5,8	5,8	6,7	7,9	7,9	9,5	9,6	9,0
4	3,5	5,8	3,8	5,1	6,4	6,4	7,6	8,2	7,2
5	1,8	2,9	3,8	5,1	6,4	6,4	6,8	7,2	7,2
6	1,8	2,9	2,9	4,0	5,3	5,3	5,6	5,9	6,0
7	1,8	2,9	2,9	3,4	4,2	4,4	4,8	4,9	5,0

Як можна побачити з табл. 1, зведені в ній значення напруги, що припадає на один ізолятор в залежності від рівня СЗА не відповідають дійсності, так як, наприклад, для лінійної ізоляції повітряних ліній 110 кВ при I-му рівні СЗА

кількість ізоляторів в гірлянді складає 6 шт. і напруга по довженні гірлянди розподіляється нерівномірно.

Автор в роботі [1] приводе наступне, що у нормальному експлуатаційному режимі по ізоляторах тече фоновий струм витоку. Специфіка процесу протікання фонового струму полягає в тому, що його збільшення призводить до підсушування зволоженої поверхні ізоляторів і подальшого збільшення їх опору, в результаті чого струм стабілізується на певному рівні тому фоновий струм витоку є такий що саморегулюється, і його значення не залежить від напруги лінії, а втрати потужності на лінії будь-якої напруги можуть бути визначені за формулою, кВт/км

$$\Delta P_{\text{изм}U} = \Delta P_{\text{изм}110} \frac{U_{\text{ном}}}{110} 3 \cdot n,$$

де $\Delta P_{\text{изм}110}$ – втрати потужності в гірлянді ізоляторів лінії 110 кВ, визначені експериментальним шляхом; n – число опор на 1 км лінії з номінальною напругою $U_{\text{ном}}$.

Виходячи з вищенаведеного на нашу думку не врахування розподілу напруги вздовж гірлянди ізоляторів призводить до хибної думки автора роботи [1], так як, падіння напруги на елементах гірлянди та врахування їх нерівномірного забруднення і впливу погодних умов, призводить до зміни струму витоку через забруднену поверхню. Саморегулювання фонового струму витоку це є не що інше, як виникнення часткових розрядів з підвищеною амплітудою цього струму з короткою тривалістю часу. Тому неврахування розподілу напруги вздовж гірлянди ізоляторів призведе до похибки при розрахунку втрат енергії за рахунок струмів витоку по ізоляторам повітряних ліній.

Список використаних джерел:

1. Железко Ю. С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов / Ю. С. Железко. - М.: ЭНАС, 2009. - 456 с.: ил.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ УСТАНОВКИ ЗА СЧЕТ МОДЕРНИЗАЦИИ РАЗРЯДНИКА СО СКОЛЬЗЯЩИМ РАЗРЯДОМ

Борисенко А.Н., Ревуцкий В.И.

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Украина, г. Харьков

Данная работа посвящена поиску способа увеличения ресурса и уменьшения габаритов разрядника с многоканальным пробоем.

Известно, что многоканальный пробой позволяет значительно снизить индуктивность разрядного контура, тем самым уменьшив длительность фронта и увеличив частоту следования импульсов.

Многоканальный пробой реализован в разрядниках со скользящим разрядом [1, 2]; такие разрядники обычно содержат два основных плоских электрода, расположенных на противоположных сторонах диэлектрической пластины, и управляющий электрод, который установлен внутри данной диэлектрической пластины. Введение управляющего электрода в диэлектрическую пластину под один из основных электродов предполагает емкостную развязку от запускающего генератора; управление коммутатором в данном случае происходит искажением поля. Толщина применяемого диэлектрика в данном случае ограничена его электрической прочностью.

Предлагается использовать технологию многослойных керамических плат для создания разрядников такого типа. Это позволит, во-первых, повысить ресурс поверхностного слоя разрядника, т.к. керамический материал более стойкий к воздействию плазмы, чем стеклотекстолит и другие полимерные материалы. Во-вторых, некоторые типы керамики имеют высокие значения пробивной прочности по толщине, поэтому возможно создание более тонких элементов конструкции разрядника, что, соответственно, значительно снизит индуктивность всего разрядника.

Актуальность проводимой работы обусловлена необходимостью создания компактных и надежных высоковольтных источников с короткими временами нарастания фронта импульса, пригодных для целого спектра импульсных приложений. К примеру, предложенная конструкция разрядника вполне может быть применена в малогабаритных генераторах высоковольтных импульсов с малым временем нарастания для проведения испытаний на электромагнитную совместимость объектов инфраструктуры, содержащих цепи с малыми собственными сопротивлениями, по которым существует вероятность протекания индукционных токов наносекундной длительности.

Список использованных источников:

1. Разрядник со скользящим разрядом // Патент СССР № 1461290. 1995. / Коренев С.А.
2. Н.М. von Bergmann, “Triggered Multichannel Surface Spark Gaps”, J. Phys. E: Sci. Instrum., vol. 15, p. 243, 1982.

АНАЛІТИЧНЕ ПОРІВНЯННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ЗА ДВОМА СТАНДАРТАМИ В ЛІНІЯХ НЕТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАЛІЗНИЦЬ ЗМІННОГО СТРУМУ

Босій Д.О., Земський Д.Р.

*Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна, Україна, м. Дніпро*

В Україні з 2014 року вступив у дію ДСТУ EN 50160:2014 «Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загального призначення» завдяки гармонізації європейського стандарту EN 50160:2010. Нове законодавство, розроблене в рамках лібералізованого ринку електроенергії України, встановлює вимоги ДСТУ EN 50160:2014 як гарантовані показники якості електроенергії. Так, зокрема у пункті 11.4.6. Кодексу систем розподілу зазначається, що параметри якості електричної енергії в точках приєднання споживачів у нормальних умовах експлуатації мають відповідати параметрам, визначеним у ДСТУ EN 50160:2014 «Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загального призначення». Цим підвищується актуальність забезпечення якості електроенергії, оскільки у Кодексі визначені суми та принцип розрахунку компенсацій та порядок їх надання споживачам від постачальників та операторів систем розподілу електричної енергії. У той же час, із прийняттям ДСТУ EN 50160:2014, не втратив чинність ГОСТ 13109-97 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» на який продовжують посилались інструкції та правила прийняті до 2014 року. Аналізу розбіжностей, які має ДСТУ EN 50160:2014 у відношенні до ГОСТ 13109-97, присвячені декілька робіт. Загалом їх автори обмежились співставленням нормативних значень відповідних показників якості електроенергії. Проте, менше уваги приділено вимогам до обробки результатів вимірювання. Зокрема, розмір інтервалу усереднення вимірних значень напруги, який у ГОСТ 13109-97 складає 3 або 60 с, у залежності від розрахованого показника, а у ДСТУ EN 50160:2014 – 10 хв, може мати істотний вплив на результати оцінки якості електроенергії у системі. Тому, метою роботи є порівняння вимог двох стандартів на підставі обробки вимірних миттєвих значень.

В рамках дослідження виконувались вимірювання, що проводилось у колі вторинної напруги понижуючого трансформатору КТП, приєднаній до лінії «два проводи-рейка» Одеської залізниці. Загальна тривалість експерименту становила 9 годин. Споживач, за нормальної схеми отримував живлення від лінії ДПР, що підключена до шин тягової підстанції Чубівка (ЕЧЕ-25). Резервне живлення забезпечується від суміжної підстанції Слобідка (ЕЧЕ-26). Вимірювання проведені також і для режиму паралельного живлення від двох підстанцій.

РОЗРОБКА ФІЗИЧНОЇ МОДЕЛІ РОЗГЕРМЕТИЗАЦІЇ ОБОЛОНКИ ТВЕЛ

Бровко К.Ю., Буданов П.Ф., Хом'як Е.А.

Українська інженерно-педагогічна академія, Україна, м. Харків

Концепція розвитку атомної енергетики України, спрямована на створення економічно ефективних, надійних і безпечних атомних станцій, конкурентноздатних у порівнянні з іншими джерелами енергії [1].

Особлива увага повинна бути приділена вивченню процесів, що відбуваються в активній зоні реактора при порушеннях режимів нормальної експлуатації і при аварійних ситуаціях.

Для зменшення наслідків аварійних ситуацій необхідно зберегти охолоджувальність активної зони реактора, яка може бути порушена при можливому перегріві, формозміні і розгерметизації оболонки ТВЕЛ [2].

Питанням вивчення поведінки ТВЕЛів в аварійних режимах приділялась увага в більшості країн, що розвивають атомну енергетику.

Тому, завдання дослідження фізико-хімічних процесів, що відбуваються в оболонці ТВЕЛ при її розгерметизації, є актуальною проблемою.

Для вирішення даної проблеми необхідно проводити контроль розгерметизації оболонок ТВЕЛ не тільки на основі наявності речовин після відпрацювання ядерного палива за межами тепловіділяючих збірок ядерного реактора, а здійснювати контроль динаміки розгерметизації оболонок ТВЕЛ в режимі реального часу, досліджуючи процес появи пор і тріщин оболонок ТВЕЛ. Тому в якості об'єкта дослідження, в роботі розглядається процес розгерметизації, що відбувається, як на внутрішній, так і на зовнішній поверхні структури оболонки ТВЕЛ [3].

В роботі запропоновано розробити фізичну модель, яка дозволить описати процеси, що впливають на формозміни внутрішньої і зовнішньої поверхні оболонки ТВЕЛ при її розгерметизації на основі врахування специфічних фрактально-класерних властивостей об'єкту при зміні його структури.

Дослідження показали, що на розгерметизацію оболонки ТВЕЛ впливають такі чинники: корозія, фреттинг корозія і стирання покриттів; низька пластичність зносостійких матеріалів; різка деградація жароміцності конструкційних матеріалів активної зони ядерного реактора; підвищена температура теплоносія (вода, газ); повзучість матеріалу; низька жароміцність; радіоактивне випромінювання; високе залишкове енерговиділення ядерного палива; розплавлення проміжного шару при аварійному підвищенні температури теплоносія вище 660 °С; низькотемпературне радіаційне охрупчування покриттів і конструкційних матеріалів через накопичення електронних дефектів кристалічної структури; абразивне зношування контуру при відлущуванні;

втрата теплоносія (вода, газ); залишкова деформація оболонки; механізм водневої крихкості; механізм уповільненого гібридного розтріскування; механізм корозійного руйнування під напругою. Тому, були розглянуті вищенаведені фактори, з точки зору їх впливу на геометрію структури оболонок ТВЕЛ для уповільнення моменту розгерметизації [4].

Тому при розробці пропонованої моделі були враховані характеристики параметрів, які впливають на зміну геометричних властивостей об'єму оболонки ТВЕЛ при її розгерметизації.

Модель, яка описує процеси розгерметизації в оболонці ТВЕЛ дозволяє визначити [5]:

- ступінь деформації оболонок і блокування прохідного перетину теплоносія;
- результати теплофізичних і нейтронно-фізичних розрахунків для нормальних умов експлуатації;
- відносне енерговиділення в паливі по перетину пучка;
- ступінь і характер окислення оболонок по висоті і поперечному перерізу активної зони ядерного реактора.
- енерговиділення в ТВЕЛх на різних стадіях (номінальний рівень, перехідний процес і рівень залишкового тепловиділення),
- теплообмін між ТВЕЛ і теплоносієм в однофазному і двофазному стані,
- термомеханічний стан ТВЕЛів,
- вплив сусідніх елементів і дистанціонуючих решіток на стан пучка елементів та ін.

В якості практичного застосування, результати, отримані в роботі, можна використовувати в методиці контролю розгерметизації оболонок ТВЕЛ і його сполучення з ПТК енергоблоку АЕС в режимі реального часу.

Список використаних джерел:

1. Буданов П. Ф., Бровко К. Ю., Хом'як Е. А. Аналіз факторів безпеки при експлуатації тепловиділяючих елементів ядерного реактора атомної електростанції // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Випуск 204 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Харків: ХНТУСГ, 2019. – С. 50–52.
2. Буданов П. Ф., Бровко К. Ю., Хом'як Е. А. Методи контролю герметичності твел для підвищення ядерної безпеки АЕС // Молодь і технічний прогрес в АПК : Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. – Том 2. – Харків: ХНТУСГ, 2019. – С. 230.
3. Введение в безопасность ядерных технологий / А.В. Носовский, В.Н. Васильченко, А.А. Павленко. – Київ, 2006. – 360 с.
4. Гончаров А.А. Оценка разгерметизации ТВЭЛов ВВЭР в проектных авариях / А.А. Гончаров, А.В. Кумачов, А.В. Медведев // Труды четвертой науч.-техн. конф. «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР». – Подольск, 23–26 мая 2005. – С. 54–73.
5. Воробьев Ю. Ю., Жабин О. И. Оценка применимости модели деформации оболочек твэлов для топлива реакторов ВВЭР-1000 // Ядерная та радіаційна безпека. – 3(67), 2015. – С. 3–7.

УДОСКОНАЛЕННЯ ПТК АСУТП ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА БЕЗПЕКИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕНЕРГОБЛОКУ У НЕШТАТНИХ РЕЖИМАХ

Бровко К.Ю., Буданов П.Ф., Хом'як Е.А.

Українська інженерно-педагогічна академія, Україна, м. Харків

При розробці структури АСУТП енергоблоку характерною особливістю є контроль параметрів технологічного процесу в режимі реального часу з урахуванням критерію оптимальності управління у нештатних режимах функціонування.

До теперішнього часу найбільшого поширення набули структури АСУТП енергоблоком в штатному режимі, де основна обробка інформації здійснюється в центральному керуючому пристрої.

При такому підході, знижується швидкість обробки даних про зміну технологічних параметрів, що впливає на оперативність формування керуючих сигналів на виконавчі механізми, регулюючі та запірні органи [1].

Тому в роботі запропоновано структуру АСУТП, де частково інформація обробляється в центральному керуючому пристрої, а частково з датчиків контролю передається безпосередньо на логічні та аналогові автомати, пристрої технологічного захисту.

При такій системі управління центральний пристрій виконано у вигляді керуючої обчислювальної машини, яка дозволяє змінювати завдання локальних регуляторів, координувати роботу логічних автоматів, контролювати хід виконання операцій управління [2].

Необхідно зауважити, що основною проблемою забезпечення нормальної експлуатації енергоблоку ТЕС і АЕС є контроль інформації на достовірність при переході енергоблоку в нештатний аварійний режим функціонування. Сучасні атомні і теплові електростанції, характеризуються великим обсягом дискретного управління, особливо в нестационарних нештатних режимах (несанкціонований останов і наступний повторний пуск енергоблоку).

Несанкціонований останов і наступний повторний пуск енергоблоку може проводитися через помилкові спрацювання блокувань і захистів. Тому в структурних схемах АСУТП для штатних режимів необхідно додатково включати структурні елементи у вигляді окремих модулів для перевірки інформації на ступінь достовірності. Також, необхідно контролювати відхилення параметрів технологічного процесу від норми в нестационарних нештатних режимах [3].

У зв'язку з цим, було запропоновано виконувати завдання автоматизованого управління енергоблоком у нештатних режимах на основі удосконалення програмно-технічного комплексу (ПТК) штатної схеми АСУТП з використанням додаткового модульного блоку режиму нештатних ситуацій. Даний мо-

дульний блок режиму нештатних ситуацій дозволить забезпечити ефективне управління енергоблоком на основі удосконалення програмно-технічних засобів і математичних моделей для випадкових експлуатаційних збурень, що реалізуються в режимі реального часу.

Необхідно розглянути особливості роботи інформаційно-алгоритмічної схеми ПТК АСУТП при функціонуванні електроенергетичного обладнання для нештатних режимів роботи енергоблоку.

При зборі дискретної інформації і первинній обробці вимірювальної інформації, для контролю за достовірністю інформації про параметри технологічного процесу, цифрові дані додатково спрямовуються в модуль контролю інформації на достовірність [4].

У модулі контролю інформації на достовірність формується керуючий сигнал «Помилкове спрацювання» для уточнення динамічних і ймовірнісних характеристик або «Зупинка енергоблоку» на виявлення умов переходу під час пуску і на виконавчі пристрої технічного захисту енергоблоку.

При виявленні аварійних подій за допомогою аварійних реєстраторів для аналізу і прийняття рішень додатково цифрові дані направляються в модуль контролю аварійних ознак [5].

У модулі контролю аварійних ознак в результаті обробки цифрового коду формується і видається керуючий сигнал на зміну режиму функціонування електроенергетичного обладнання, тобто переведення енергоблоку в нештатний режим функціонування.

Таким чином, наукове обґрунтування інформаційно-алгоритмічної структури ПТК АСУТП енергоблоку в штатних і нештатних ситуаціях дозволяє зробити висновок про можливість таких структур, виявляти помилкові спрацювання обладнання та недостовірну інформацію про технологічні параметри.

Список використаних джерел:

1. Буданов П. Ф., Бровко К. Ю., Васюченко П. В. Повышение надёжности функционирования энергообъектов на основе усовершенствования программно-технического комплекса автоматизированной подсистемы аварийной и предупредительной защиты // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Харків. – 2016. Вип. 3(48). – С. 161–167.
2. Буданов П. Ф., Бровко К. Ю. Динамічна просторово-часова модель інформаційно-керуючих систем програмно-технічних комплексів АСУ ТП енергоблоку електростанції // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Харків. – 2016. – Вип. 4(49). – С. 80–85.
3. Дуэль М. А. Автоматизация определения технических характеристик энергооборудования // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит : Общегосударственный научно-производственный и информационный журнал. – 2013. – № 2. – С. 13–19.
4. Alobaid F., Mertens N., Starkloff R., Lanz T., Heinze C., Epple B. Progress in dynamic simulation of thermal power plants // Progress in Energy and Combustion Science. – 2017. – V. 59. – P. 79–162.
5. Bao T., Liu S. Quality evaluation and analysis for domain software: Application to management information system of power plant // Information and Software Technology. – 2016. – V 78. – P. 53–65.

РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ГУСТИНИ СТРУМУ ДЛЯ ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНИХ ПЕРЕРІЗІВ КАБЕЛІВ НАПРУГОЮ 10-35 КВ, ЩО З'ЄДНУЮТЬ ПОТУЖНІ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ

Буйний Р.О.¹, Зорін В.В.², Квицинський А.О.³

¹ Чернігівський національний технологічний університет, Україна, Чернігів

² НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. І.Сікорського», Україна, Київ

³ НППР ОЕС України ПрАТ «НЕК «Укренерго», Україна, Київ

В структурі генеруючих потужностей, в енергосистемі України, з кожним роком збільшується кількість нетрадиційних поновлюваних джерел енергії, що викликано встановленням на законодавчому рівні так званих «зелених» тарифів. Найбільш привабливими майже для усіх областей України є сонячні електростанції (СЕС), а для південних областей також і вітрові (ВЕС), з одиничною потужністю вітрогенераторів 1-4,2МВт. Для з'єднання вітрогенераторів застосовуються кабельні лінії (КЛ) електропередавання напругою 10-35 кВ.

В даний час нагальною проблемою в електричних мережах України, яку треба вирішувати першочергово, є зменшення втрат потужності та електричної енергії. Через високу вартість «зеленої» енергії втрати в КЛ ВЕС можуть бути надто дорогими. Тому під час їх проектування необхідно враховувати як вартісні показники обладнання, так і вартість втрат електричної енергії.

Метод вибору перерізів проводів (кабелів), який враховує вищезазначені параметри, називається «методом економічної густини струму» [1]. Величини економічних густин струму для перерізів проводів та жил кабелів у 60-х роках минулого століття були внесені до ПУЕ [2], які були чинні в Україні до 2012 року. Оскільки змінилася структура тарифів та вартісні показники, то зазначені в [2] норми густин струму для КЛ не відповідали дійсності та не ввійшли до нової редакції ПУЕ [3].

Тому постає питання розрахунку економічних густин струму для вибору перерізів кабелів, зокрема тих, що з'єднують потужні вітроенергетичні установки (ВЕУ) на напругах 10-35 кВ.

Для отримання величини економічно обґрунтованої густини струму для кабелів скористаємося методом приведених витрат, згідно з яким затрати на передачу електричної енергії визначаються:

$$З = p_n \cdot K + И, \quad (1)$$

де K – капітальні вкладення у спорудження КЛ; $И$ – щорічні витрати на експлуатацію, включаючи вартість втраченої електроенергії; p_n – нормативний коефіцієнт ефективності.

Величина K для КЛ довжиною l кілометрів може бути отримана з регресійних залежностей від перерізу кабелю F для КЛ напругою 10, 20 та 35 кВ [4]:

$$K = C_{\text{КЛ}} \cdot l = f(F), \quad (2)$$

а величина щорічних витрат за формулою:

$$И = \frac{p_a + p_{\text{eks}}}{100} \cdot K + \Pi_0 \cdot \Delta W = f(F), \quad (3)$$

де p_a , p_{eks} – норми відрахувань на амортизацію та експлуатацію КЛ у % від вартості капіталовкладень; Π_0 – тариф на електричну енергію; ΔW – втрати електричної енергії на ділянці КЛ:

$$\Delta W = 3 \cdot I_{\text{max}}^2 \cdot \frac{\rho}{F} \cdot l \cdot \tau, \quad (4)$$

де I_{max} – максимальний розрахунковий струм, що протікає через ділянку КЛ з перерізом F та довжиною l кілометрів; ρ – питомий опір матеріалу жили кабелю; τ – тривалість максимальних втрат, яка залежить від тривалості використання максимального навантаження I_{max} .

Для отримання такого перерізу F , за якого приведені витрати $З$ будуть мінімальними, необхідно у формулу (1) підставити формули (2)-(4) та знайти першу похідну затрат по параметру F :

$$\frac{dZ}{dF} = p_n \cdot \frac{dK}{dF} + \frac{dИ}{dF} = 0. \quad (5)$$

З рівняння (5) можна отримати аналітичні залежності виду $F = f(I_{\text{max}}, T_{\text{max}}, \Pi_0)$ за постійних ρ , p_a , p_{eks} , p_n .

Економічна густина струму може бути отримана з рівняння:

$$j_{\text{ек}} = \frac{I_{\text{max}}}{F} = f(T_{\text{max}}, \Pi_0). \quad (6)$$

З рівняння (6) можна отримати величини економічних густин струму для КЛ, що з'єднують ВЕУ, при цьому слід враховувати діючі тарифи на енергію, що вироблена такими ВЕУ. Згідно з [5] зараз вона складає 10,18 євроцентів/кВт·год (до 31.12.2019 року). Починаючи з 01.01.2020 року по

21.12.2024 року цей тариф буде складати 9,05 євроцентів/кВт·год, а з 01.01.2025 по 31.12.2029 року – 7,92 євроцентів/кВт·год.

На рис. 1 приведені залежності виду $j_{\text{ек}} = f(T_{\text{max}})$ для кабелів напругою 10, 20 та 35 кВ за $\Pi_0 = 10,18$ євроцентів/кВт·год та $\Pi_0 = 9,05$ євроцентів/кВт·год.

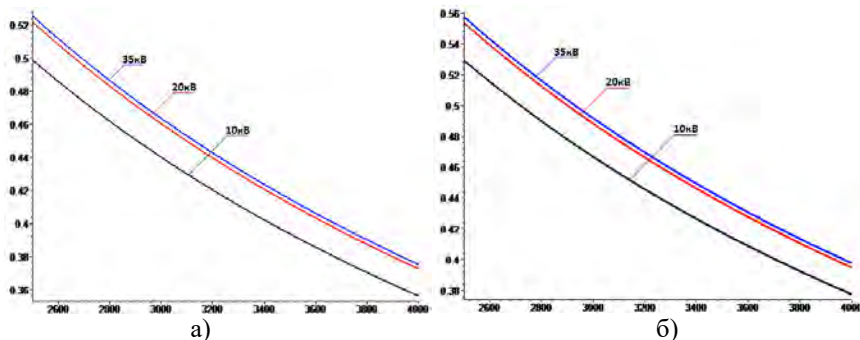


Рисунок 1 – Залежності виду $j_{\text{ек}} = f(T_{\text{max}})$:

а) за $\Pi_0 = 10,18$ євроцентів/кВт·год ; б) за $\Pi_0 = 9,05$ євроцентів/кВт·год

З рисунку 1 видно, що за однакової тривалості використання максимального навантаження T_{max} зі збільшенням класу напруги КЛ зростає економічна густина струму, що викликано вартістю кабелів. Також зі збільшенням T_{max} економічна густина струму повинна бути меншою, а переріз кабелю більшим, що дозволить забезпечити мінімальні втрати потужності у КЛ.

На рис. 2 приведені залежності виду $j_{\text{ек}} = f(T_{\text{max}})$ для КЛ напругою 35 кВ для вартостей електроенергії, виробленої ВЕУ за періоди:

- з 01.07.2015 по 31.12.2019 – крива 1;
- з 01.01.2020 по 31.12.2024 – крива 2;
- з 01.01.2025 по 31.12.2029 – крива 3.

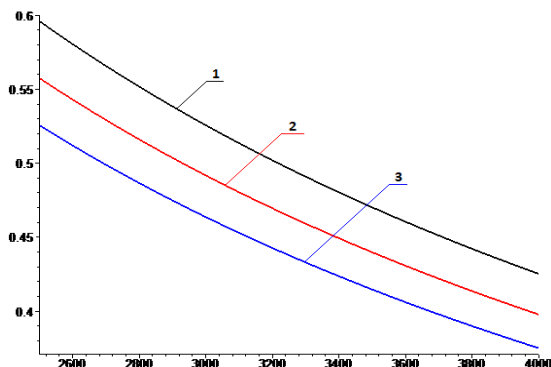


Рисунок 2 – Залежності виду $j_{ск} = f(T_{мх})$ для КЛ 35 кВ за різних вартостей електроенергії, що вироблена БЕУ

З рис. 2 видно, що починаючи з 2020 року, а потім з 2025 року економічні густини струмів для КЛ, що з'єднують БЕУ можуть бути зменшені на 6,1% та 6,9% відповідно.

Список використаних джерел:

1. Вааг Л.А., Захаров С.Н. Методы экономической оценки в энергетике: Госэнергоиздат, М.–Л., 1962г. –272с.
2. Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648с.
3. Правила улаштування електроустановок. – Видання офіційне. Міністерства енергетики України. – Х.: Форт, 2017. – 760с.
4. Буйний, Р.О. Регресійні залежності вартісних показників елементів електричних мереж напругою 10-35 кВ / Р.О. Буйний, В.О. Перепечений, В.В. Зорін // Вісник НТУ «ХП», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХП». – 2017. – № 7 (1229). – С. 18-23. – doi:10.20998/2413-4295.2017.07.03
5. Величини "зелених" тарифів для електроенергії, виробленої з використанням альтернативних джерел енергії [Електронний ресурс] // НКРЕКП: [офіційний веб портал]. – Режим доступу: http://www.nerc.gov.ua/data/filearch/electro/taryfy_na_vidpusk-elektro.pdf

**СТОСОВНО МЕТОДИК РОЗРАХУНКІВ ПРИ
СЕРТИФІКАЦІЇ БУДІВЕЛЬ****Булгаков О.В.***Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Україна, м. Харків*

Першого липня 2019 року в Україні набули чинність додаткові положення Закону України «Про енергетичну ефективність будівель», у числі яких також обов'язкова енергетична сертифікація будівель у яких знаходяться державні установи, та об'єкти нового будівництва. На сьогодні жодна новобудова, або будівля що перетерпіла термомодернізацію не може отримати дозвіл на введення в експлуатацію без діючого та внесеного в загальну електронну базу енергосертифіката, який у свою чергу повинен базуватися на розрахункових даних енергопотребителів та енергоспоживання будівлі на опалення, охолодження, гаряче водопостачання, освітлення та вентиляцію, розрахованих по відносно новій методиці, відображеній у ДСТУ Б А.2.2-12:2014.

Слід зауважити, що раніше були розроблені нормативні документи ДСТУ-Н БА-2.2.-5 -2007 та ДСТУ-Н Б В.3.2.-3:2014, ДСТУ-Н Б В-1.1.-27:2010 та ряд інших нормативних документів, які передбачали розрахунок енергетичного паспорту будівлі з урахуванням підвищених показників термічного опору огорожуючих конструкцій та розрахунки за умови тільки потреб на опалення та вентиляцію в опалювальний період.

Що до нової методики, вона добре підходить для точних розрахунків при проектуванні будівель та інженерних систем, але коли мова заходить про сертифікацію будівель, значна частина яких давно втратила будь яку проектну документацію, виникає ситуація коли деякі пункти методики набувають багатозначного тлумачення, що призводить до ускладнення перевірки сертифікатів що мають низьку оцінку достовірності, і до значного відхилення розрахункових об'ємів споживання від фактичних показників приладів обліку.

У даній роботі було виконане порівняння старої (ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2007) і нової методики розрахунку енерговитрат будівель тільки на опалення, шляхом перерахунку по старій методиці, приклада із ДСТУ 2015 року. Для того щоб привіряти умови порівняння, всі вхідні дані буди приведені до єдиних значень, без заміни принципів розрахунку. Головною зміною відносно методики 2007 року є зміна дискретності розрахунку з річної на помісячну. Результатом у старій методиці являвся добуток приведених коефіцієнтів теплопередачі і так званих градусо-днів опалювального періоду. Для отримання помісячних результатів, градусо-добу були перераховані для кожного місяця, опираючись на дані діючої на сьогодні будівельної кліматології, за формулою (1).

$$GSOP = (t_v - t_8)z_8, \quad (1)$$

де t_v – розрахункова температура внутрішнього повітря, °C, t_8 – середня температура опалювального періоду °C, z_8 – тривалість (в добах) опалювального періоду.

У табл. 1 та рис. 1 представлені результати розрахунку по обох методиках.

Таблиця 1 – Порівняння результатів розрахунків

	Енергоспоживання		Енергопотреба		Побутові надходження		Сонячні надходження	
	$Q_{рік}$	$Q_{рік}'$	Q_k	Q_k'	$Q_{внп}$	$Q_{внп}'$	Q_s	Q_s'
Січень	207101	183954	255606	151929	88201	34104	7672	7070
Лютий	172728	153376	220199	125295	79666	30804	10040	10258
Березень	133645	125253	194389	97077	88201	34104	14560	15694
Квітень	6038	44359	38490	31000	31297	33004	14606	0
Травень	0	0	0	0	0	0	0	0
Червень	0	0	0	0	0	0	0	0
Липень	0	0	0	0	0	0	0	0
Серпень	0	0	0	0	0	0	0	0
Вересень	0	0	0	0	0	0	0	0
Жовтень	39734	57912	95272	43860	71130	34104	11475	11519
Листопад	125541	124460	178765	97012	85356	33004	5845	5040
Грудень	182719	167720	231978	136773	88201	34104	5364	4377
СУМА	867505	857034	1214698	682946	532052	233228	69562	53958

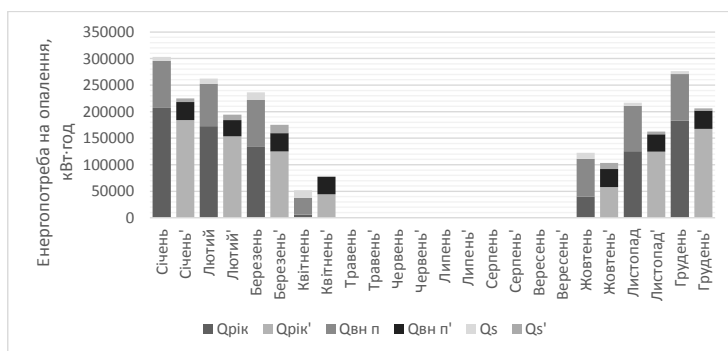


Рисунок 1 – Порівняння результатів розрахунків

Як видно з порівняльних таблиці і графіків (показники нової методики позначені штрихом), різниця у підході до розрахунку має значний вплив на співвідношення втрат и надходжень у енергобалансі будівлі, але різниця у кінцевому результаті, а саме у енергоспоживанні на опаленні, склала 1,22 відсотка, що на мій погляд робить стару методику цілком придатною для використання у цілях енергетичної сертифікації у частині енергопотреб на опалення, без врахування інфільтрації та вентиляції.

Список використаних джерел:

1. ДСТУ Б А.2.2-12:2015 Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні – Київ: Мінрегіон України, 2015.
2. ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2007 Настанова з розроблення та складання енергетичного паспорта будинків при новому будівництві та реконструкції. Київ: Мінрегіонбуд України, 2008.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ БАТАРЕИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ В ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМАХ**Бурлака В.В., Гулаков С.В., Поднебенная С.К.***ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет»,
Украина, г. Мариуполь*

Аккумуляторные батареи, как и некоторые другие электрохимические источники тока, обладают рядом специфических свойств. Одним из таких свойств является то, что они неэффективно отдают запасенную энергию при больших токах разрядки. При заряде большим током также имеем сниженную эффективность процесса преобразования электрической энергии в энергию химических связей. Применительно к транспорту на автономной электрической тяге это означает, что для достижения максимального пробега следует обеспечить разряд батареи постоянным током с минимумом пульсаций. Однако в условиях езды по городскому циклу реализовать этот сценарий затруднительно из-за частых разгонов и торможений (которые сопровождаются возвратом кинетической энергии транспортного средства в батарею).

Для сглаживания пульсаций тока батареи автором [1] предложено подключение параллельно ей суперконденсаторов большой емкости. Так как последние обладают практически неограниченным ресурсом циклов «заряд-разряд» и меньшим, по сравнению с батареей, внутренним сопротивлением, то кратковременные набросы и сбросы нагрузки будут обеспечиваться главным образом за счет энергии, запасенной в суперконденсаторах. Таким образом, амплитуда переменной составляющей тока аккумуляторной батареи будет снижена, что приводит к улучшению эффективности ее работы.

Главным недостатком описанного решения является недоиспользование суперконденсаторов как буферных элементов для сглаживания тока аккумуляторной батареи. Это объясняется небольшим диапазоном рабочих напряжений на батарее. В то же время для суперконденсаторов нет ограничений по глубине разряда, что дает возможность более эффективного их использования. Для этого авторами предложена схема буфера пульсаций (Power Pulsation Buffer, PPB) для электротранспорта, состоящая из понижающего двунаправленного полумостового DC/DC преобразователя, к выходу которого подключена батарея суперконденсаторов, а питание преобразователя производится от аккумуляторной батареи. Такое построение схемы имеет ряд преимуществ по сравнению с вариантом параллельного соединения суперконденсаторов и аккумуляторной батареи, описанным в [1]:

1) имеется возможность заряда суперконденсаторов до их максимального рабочего напряжения независимо от степени заряда основной аккумуляторной батареи, т.е. обеспечивается максимально возможный запас энергии в них;

2) имеется возможность разряда суперконденсаторов практически до нулевого напряжения, что обеспечивает максимально полное использование запасенной в них энергии;

3) в процессе движения имеется возможность управления напряжением на суперконденсаторах, что также повышает эффективность сглаживания нагрузки на основную аккумуляторную батарею. Объясняется это следующим. При нулевой скорости транспортного средства следующим действием водителя будет, вероятнее всего, ускорение, т.е. повышенное потребление тока. В этом случае запас энергии в суперконденсаторах целесообразно иметь максимальным, чтобы обеспечить хорошую динамику разгона без нагружения основной батареи аккумуляторов. По мере увеличения скорости транспортного средства будет увеличиваться вероятность того, что водитель использует торможение. Но при торможении, наоборот, целесообразно запас энергии в конденсаторах держать минимальным, чтобы поглотить энергию, которую отдаст привод при рекуперации. Подытоживая сказанное, целесообразно энергию суперконденсаторов держать на уровне, зависящем от квадрата скорости транспортного средства.

В случае использования понижающего преобразователя допустимое напряжение батареи суперконденсаторов должно быть не выше минимального напряжения на батарее аккумуляторов при их минимальном уровне заряда.

В качестве силовых компонентов преобразователя целесообразно использовать силовые MOSFET транзисторы из-за омического характера их выходных характеристик и возможности получения высокого КПД преобразования. При этом следует учитывать, что обратный диод у высоковольтных MOSFET транзисторов имеет большое время обратного восстановления, что накладывает ограничения на частоту переключения и способы управления преобразователем.

Перспективным способом управления таким преобразователем является использование режима треугольного тока, известного в англоязычной литературе как Triangular Current Mode (TCM) или Boundary Current Mode (BCM). Это дает возможность избежать проблем, связанных с процессом обратного восстановления антипараллельных диодов силовых транзисторов. Поскольку такой режим работы сопровождается высокой амплитудой пульсаций, целесообразно также использовать модульную схему со сдвигом фаз между отдельными модулями.

Применение предложенного подхода позволит в 3-10 раз увеличить эффективность использования суперконденсаторов по сравнению со способом, описанным в [1], что даст возможность обеспечить ту же эффективность подавления пульсаций мощности при меньшей емкости суперконденсаторов.

Дальнейшим направлением исследований является постройка экспериментального образца описанного буфера пульсаций и опробование его в работе.

Список использованной литературы:

1. Трінчук Д.Я. «Підвищення ефективності перетворення енергії в нелінійних електричних колах зі змінним навантаженням»: дис. канд. техн. наук. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, 2019.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ У СИСТЕМІ ЗМІННОГО СТРУМУ ПРИ ВМИКАННІ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА У РЕЖИМІ ХОЛОСТОГО ХОДУ

Волков О.Ю., Міщенко Т.М.

*Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна, Україна, м. Дніпро*

Згідно теорії трансформаторів при вмиканні ненавантаженого трансформатора до мережі синусоїдальної напруги, в його первинній обмотці короткочасно виникає кидок його струму намагнічування. Такі сплески дуже небезпечні і можуть викликати помилкове спрацювання деяких видів захисту та механічне руйнування обмотки трансформатора. Величини цих кидків струму також важливо знати при оцінці виникаючих перенапруг та показників системи. Визначення зазначених кидків струму є складною задачею, враховуючи суттєву нелінійність існуючих потужних трансформаторів. На початку розв'язання цієї задачі застосовували наближені аналітичні методи. Однак останні дозволяють отримувати лише оцінку кидків струму намагнічування. В останні роки ця задача розв'язується, головним чином, шляхом моделювання, найчастіше класичного математичного.

В цій роботі імітаційно досліджено вплив ряду величин і параметрів системи тягового електропостачання (СТЕ) на перехідні електромагнітні процеси вмикання тягового трансформатора електровоза ДС 3 у режимі його холостого ходу. При цьому враховували: відстань від електровозу до тягової підстанції (ТП); електричні параметри тягової мережі (ТМ) і ТП; коливання фідерної напруги; наявність і параметри пристрою поперечної компенсації (ППК). Розрахункові значення фідерної напруги приймали згідно ПТЕ та ГОСТ 6962-75: $U_{\min}=19$ кВ; $U_{\text{ном}}=25$ кВ; $U_{\max}=29$ кВ.

В роботі викладено результати струму намагнічування трансформатора в залежності від відстані електровозу до ТП (0; 5; 10; 15 і 20 км). При цьому імітаційно моделювали системи: «ТМ-ЕРС», «ТП-ТМ-ЕРС», «ТП-ППК-ТМ-ЕРС».

За результатами моделювання зокрема встановлено, що з ускладненням системи величина кидка струму збільшується: наприклад, при відстані між електровозом і ТП 10 км значення струму намагнічування для схеми «ТМ-ЕРС» склало 469,2 А, а для системи «ТП-ППК-ТМ-ЕРС» – вже 619,4 А.

Найбільш небезпечним є режим вмикання трансформатора у режимі холостого ходу при розташуванні електровоза ДС 3 біля ТП. У цьому випадку, по-перше, кидок струму найбільший і досягає біля 685 А і, по-друге, тривалість перехідного процесу – найдовша і складає 0,7 ... 1,1 с.

Найбільший кидок струму – 830 А, спостерігається при максимальній напрузі і відстані електровоза до ТП 20 км. А найбільше зменшення амплітуди струму намагнічування (в залежності від відстані) спостерігається у вітці з ППК.

Електричні кола розглядуваних систем являють собою активноіндуктивні (R - L) кола. Для таких кіл, як відомо із теоретичної електротехніки, тривалість перехідного процесу $T_{\text{пн}}$ при вмиканні кола дорівнює: $T_{\text{пн}} = (4...5) L/R$. Тоді зі збільшенням струму у більшій мірі збільшується її активний опір. За такої ж причини збільшується $T_{\text{пн}}$ і, отже, довше встановлюється усталений процес і ще більш складніший (реальний) у системі електрифікованої ділянки. Характер зміни в часі перехідних струмів фідерного струму, пристроя компенсації ППК тягової мережі в залежності від фідерної напруги та місця знаходження електровоза в міжпідстанційній зоні однаковий. Але кидки зазначених струмів різноманітні.

УДК 621.311

АКУМУЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В МІСЬКИХ МЕРЕЖАХ

Воропай В.Г., Дьяков Є.Д.

*Харківський національний університет міського господарства
ім. О.М. Бекетова, Україна, м. Харків*

Рівень електроспоживання в Україні постійно росте і зараз вже перевищує споживання в багатьох країнах ЄС. Характерною особливістю даного процесу, являється постійне збільшення частки споживання електричної енергії міськими споживачами, яка в загальній структурі споживання вже перевищує 35%.[1]. Дані обставини потребують розробки заходів по підвищенню ефективності використання електроенергії міськими споживачами. Одним із напрямків підвищення ефективності електроспоживання, являється впровадження альтернативних джерел електроенергії. Проте, нестабільність електричних характеристик цих джерел

в процесі експлуатації обмежує їх використання. Використання установок, здійснюючих акумулювання електроенергії дозволяє забезпечити безперебійне і стабільне електропостачання споживачів. Різні варіанти систем акумулювання електроенергії в якості базового елемента використовують батареї електрохімічних акумуляторів. При виборі акумуляторів для конкретної схеми електропостачання слід враховувати електротехнічні і експлуатаційні характеристики джерел, споживачів і накопичувачів електроенергії.

Наукові дослідження способів підвищення ефективності існуючих і розробки нових акумуляторів електроенергії провадяться ведучими енергетичними фірмами, такими як NEDO (Японія), VARTA і BEAG (Німеччина). В нашій країні науково-дослідні роботи в цьому напрямку виконує Інститут електродинаміки НАНУ.

При вирішенні проблем, зв'язаних з використанням акумуляторів, в основному, увага приділяється таким характеристикам як відносна маса, термін зберігання енергії, час зарядя-розряда, термін служби, безпека експлуатації і т.д. Крім того, використання приладів акумулювання не повинно дуже впливати на техніко-економічні показники схеми електропостачання. Підвищити ефективність роботи акумулюючих систем дозволяє використання прилада розробленого Інститутом електродинаміки, який забезпечує автоматичне управління режимами їх роботи.

Одним із напрямків використання систем акумулювання електроенергії в системі електропостачання міст є зовнішні освітлювальні установки. Використання альтернативних джерел електроенергії разом з системами акумулювання дозволять створювати автономні освітлювальні установки для освітлення внутрішньоквартальних територій, а також технічних приміщень житлових будинків і адміністративних споруд, що значно зменшить електроспоживання в селітебній зоні міста.

Список використаних джерел:

1. Регулювання режимів споживання електричної енергії в осінньо-зимовий період 2004 – 2005 рр. // Энергетическая политика Украины. – 2004. – № 10. – С 93-94.

ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНОГО ТЕПЛОАКУМУЛЮЮЧОГО МАТЕРІАЛУ ДЛЯ СТАБІЛІЗАЦІЇ ТЕМПЕРАТУРИ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ ПРИВАТНОГО ДОМОГОСПОДАРСТВА

Галько С.В.¹, Довгалиук О.М.², Жарков А.В.³, Хромишев В.О.⁴

¹ Таврійський державний агротехнологічний університет, Україна, м. Мелітополь

² Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Україна, м. Харків

³ ТОВ «ЮБС – Холод», Україна, м. Харків

⁴ Мелітопольський державний педагогічний університет
імені Богдана Хмельницького, Україна, м. Мелітополь

В Україні, як і у всьому світі, спостерігається стійке зростання попиту на електричну і теплову енергію. З урахуванням цієї тенденції актуальними стають енергозберігаючі технології, серед яких важливими є збереження тепла для приватного домогосподарства.

Для вирішення цієї задачі авторами запропонована корисна модель на спосіб приготування теплоакumuлюючого матеріалу (ТАМ) для стабілізації температури в технологічних процесах приватного домогосподарства за рахунок надлишку сульфату натрію Na_2SO_4 [1].

Корисна модель належить до відновлюваної енергетики, зокрема до ТАМ, які можуть бути використані для стабілізації температури технологічного процесу, близької до середовища. Саме у таких випадках, коли енергія використовується при низьких температурах, характерних для середовища, її особливо цінно накопичувати у формі низькопотенційної теплоти (НПТ), щоб захистити контрольований об'єкт від перегріву вдень і від переохолодження вночі [2].

В основу корисної моделі поставлено задачу створення нового способу приготування ТАМ на базі природного мінералу - мірабіліту, простого в приготуванні, придатного для стабілізації температури на заданому рівні, при забезпеченні високої теплової ємності і відсутності переохолодження, наприклад в приватній неопалювальній теплиці або в бродильній ємності.

Поставлена задача вирішується тим, що надлишок сульфату натрію Na_2SO_4 створюють за рахунок того, що, згідно з корисною моделлю, чистий сульфат натрію Na_2SO_4 , (густина $1,45 \text{ г/см}^3$, температура плавлення $32,384 \text{ }^\circ\text{C}$) розчиняють в гарячій воді до концентрації дещо більшої 44 % мас.

Плавлення мірабіліту у власній кристалізаційній воді відбувається за температури дещо вищої $32 \text{ }^\circ\text{C}$, з поглинанням теплоти і наступним її виділенням при кристалізації охолодженого розчину. Для усунення значного переохолодження звичайно використовують композиційні ТАМ із компонентами, які є ініціаторами кристалізації. Запропоновано використовувати перенасичений

розчин мірабіліту, коли частина кристалів так і не зможе розчинитися, за рахунок того, що їм просто не хватить власної кристалізаційної води. Ці кристали забезпечать неврівноваженість розчину мірабіліту, яка автоматично запустить кристалізацію при зниженні температури нижче меншої граничної величини. Теплота під час цієї реакції гідратації/дегідратації становить 250 кДж/кг або 650 МДж/м³ [2], що створює можливість підтримки оптимальної температури в технологічному процесі при живленні від джерела НПТ. При кімнатній температурі сульфат натрію Na_2SO_4 утворює кристалогідрат з десятима молекулами води: $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$. Залежність розчинності сульфату натрію у воді від температури представлена на рис. 1.

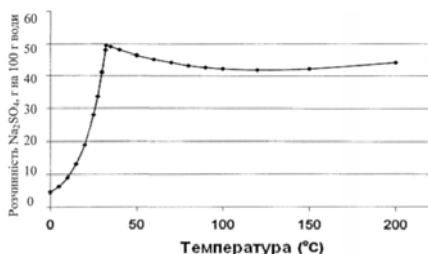


Рисунок 1 – залежність розчинності сульфату натрію у воді від температури

Аналіз залежності розчинності сульфату натрію показує, що при збільшенні температури розчинність сульфату натрію у воді швидко зростає. Проте при досягненні температури 32,384 °C, відбувається різка зміна: подальший нагрів веде не до зростання, а до зниження розчинності солі. В даній точці мірабіліт (декагідрат натрію сульфат $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) переходить в безводну сіль - сульфат натрію Na_2SO_4 . Процес супроводжується плавленням сульфату натрію у власній кристалізаційній воді. Максимальна розчинність сульфат натрію становить 49,7 г Na_2SO_4 на 100 г води.

Розрахунки теплового балансу плівкових теплиць показали можливість регулювання температури в межах ± 10 °C від навколишнього середовища, забезпечуючи комфортні умови росту рослин при забезпеченні високої теплової ємності і відсутності переохолодження [3], або стабілізації температури зброджування сировини в зброджувальній ємності.

Список використаних джерел:

1. Патент України на корисну модель UA 132660, МПК C09K5/00. Спосіб приготування теплоакумулюючого матеріалу для стабілізації температури в технологічних процесах приватного домогосподарства/ А.В. Жарков, Ю.І. Тугай, В.О. Хромишев, С.В. Галько, О.М. Довгалюк, В.Я. Жарков, Я. Котиза. - №u201808265; заявл. 26.07.2018; опубл. 11.03.2019. – Бюл. №5/2019.
2. Jon Twidell and Tony Weir. Renewable Energy Resources. - London and New York: Taylor & Francis, 2006. - P. 495-499.
3. Коган Б.С. Ткачев К.В. Шамриков В.М. Теплоаккумулирующие составы на основе сульфата натрия // АВОК. - 2001. - № 3 - С. 14-18.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КЕРУВАННЯ РОБОТОЮ МІСЬКИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ**Гаряжа В.М., Євсєєва Д.О., Кравченко Ю.П.***Харківський національний університет міського господарства
ім. О.М. Бекетова, Україна, м. Харків*

Під ефективним управлінням режимом роботи системи електропостачання міського району розуміється забезпечення економічного режиму роботи мережі та електроустановок споживача з обов'язковим урахуванням факторів надійності.

Система електропостачання Шевченківського району міста Харкова сформована радіальними, радіально-магістральним та кільцевими розподільними мережами напругою 6 (10) кВ, та здійснює електропостачання населення і промислових підприємств, розташованих в межах району. Внаслідок низки особливостей розподільна мережа працює в розімкнутому режимі (тобто маютьсЯ точки розмикання). На сьогоднішній день, управління режимом роботи замкнутої чи складнозамкнутої мережі має на увазі вибір і підтримання точки поділу мережі в певному вузлу. Вибираючи місце розташування цієї точки, оперативний керівник (черговий диспетчер району електромереж) передусім керується необхідністю забезпечення надійного та безперебійного електропостачання. У той же час місце розташування точки поділу помітно впливає на рівень втрат потужності і відхилення напруги в вузлах системи електропостачання, але при виборі місця розмикання дані фактори не враховуються, зважаючи на відсутність оперативної та простої методики, що дозволяла б визначити точку розмикання, яка забезпечує необхідні параметри надійності та економічності роботи. У зв'язку з вищевикладеним, необхідний комплексний підхід до вирішення проблеми визначення точки розмикання мережі з обов'язковим урахуванням факторів надійності та економічності роботи, як системи електропостачання так і електроустановок споживачів.

Заходами щодо зниження рівня втрат потужності в мережі є: поліпшення режимів роботи мережі, реконструкція електричних мереж, удосконалення системи обліку тощо. Зниження рівня втрат доцільно здійснювати шляхом поліпшення режиму роботи мережі, оскільки цей підхід не вимагає значних капітальних витрат і легко здійснюється в умовах діючої системи електропостачання. Ці заходи включають в себе різні методи управління режимом роботи системи електропостачання, в тому числі вибір і підтримання точки розмикання складнозамкнутої системи.

На сьогодні на ринку представлено безліч програмних продуктів, як дозволяють розраховувати показники і параметри режиму роботи мережі, однак їх цільове призначення не дає можливості миттєвого динамічного розрахунку при зміні топології і конфігурації схеми мережі, тому виникає необхідність в розробці програмного продукту, який дозволяє оперативно і просто визначити точку розмикання, для забезпечення мінімальних втрат потужності і рівня відхилення напруги, за умови безперебійного та надійного електропостачання споживачів.

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В МІСЬКИХ МЕРЕЖАХ

Гаряжа В.М., Іленко К.С., Шляпніков О.Ю.

*Харківський національний університет міського господарства
ім. О.М. Бекетова, Україна, м. Харків*

Проблема підвищення якості електроенергії в житлово-комунальному секторі останнім часом стала ще більш гострою, ніж раніше. Приймачі низьковольтних мереж, які в більшості своїй є однофазними, урізноманітнилися за складом і потужністю, що досить часто викликає значні відхилення напруги, за рахунок зсуву нейтралі фазних напруг. З метою регулювання напруги споживачі вимушені встановлювати індивідуальні однофазні стабілізатори напруги. Ця проблема має місце і у трифазних споживачів – в цьому разі необхідне встановлення трифазних стабілізаторів, більшість яких за конструкцією і принципом дії на напругу мережі є сукупністю трьох однофазних стабілізаторів, кожен з яких працює зі своєю фазою. Незалежно від причини відхилення рівня напруги тієї або іншої фази, відбувається вимірювання величини фазної напруги, порівняння її з заданим номінальним значенням і залежно від знаку відхилення напруга підвищується чи знижується на певну величину. При цьому початкова фаза напруги не фіксується і ніяк спеціально не коригується. В тому разі, якщо відхилення напруги у всіх трьох фазах мережі різняться за величиною, а зсув фаз між ними відрізняється від 120° , що властиве для несиметрії напруг, то описаний принцип дії хоча і вирішить проблему рівня фазної напруги, але стосовно якості трифазної напруги в цілому не тільки не дасть позитивного ефекту, а й ще більше посилить проблему несиметрії, додавши спотворення, яких не було в фазних напругах і спотворивши симетричні лінійні напруги.

Знизити несиметрію можливо за рахунок не тільки технічних, але і організаційних заходів, хоча деякі з них можуть реалізовуватися одночасно як одним, так і іншим шляхом.

Організаційний шлях вимагає проведення заходів експлуатаційного характеру діючої мережі з використанням наявних елементів та пристроїв і існуючої структури цієї мережі, прийняття певних рішень на стадії проектування нових мереж.

Застосування існуючих на даний момент трифазних стабілізаторів напруги для корекції фазних напруг виправдане тільки при симетричних відхиленнях напруги, оскільки при несиметрії напруг такі стабілізатори спотворюють лінійні напруги.

Пропонується коригувати напругу за допомогою пристрою, побудованого на вольтододавальному принципі, який зможе одночасно симетрувати напруги та здійснювати їх симетричне регулювання, об'єднуючи в собі достоїнства і можливості традиційних трифазних стабілізаторів напруги і симетрувальних пристроїв.

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОЗПОДІЛЬЧИХ МЕРЕЖ
ПРИ ПРОЕКТУВАННІ****Горбенко М.В.***Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна, Україна, м. Дніпро*

На сьогоднішній день Об'єднана електроенергетична система України, працюючи як єдине ціле, включає в себе велику кількість генеруючих потужностей, розгалужену мережу високовольтних ліній електропередач та високу концентрацію потужного обладнання на підстанціях усіх регіональних електроенергетичних системах нашої країни. Сучасний незадовільний стан більшості енергетичного устаткування та зростання електричного навантаження на систему призводять до виникнення аварійних режимів які супроводжуються великими економічними збитками та негативними соціальними наслідками. Забезпечення достатнього рівня надійності проєктованих та реконструйованих об'єктів електроенергетики за рахунок вибору новітнього технологічного обладнання, застосування сучасних схематичних рішень та алгоритмів роботи системної автоматики є одним із шляхів підвищення надійності системи та зменшення аварій при експлуатаванні електричних мереж.

Метою данної роботи є розгляд сучасних технічних рішень, які приймаються при проектуванні первинного обладнання підстанцій, аналіз причин, які призводять до відмов та глибокого розрахунку надійності декількох конфігурацій проєктованої підстанції, що дадуть змогу наочно оцінити зміну характеристики надійності об'єкту енергосистеми при зміні характеристик того чи іншого первинного обладнання.

Ефективний аналіз надійності ЕЕС можливий лише за умови врахування всіх особливостей процесу їх функціонування, який на відміну від процесів функціонування інших технічних об'єктів, характеризується неперервною зміною станів системи та існуванням у ній цілого спектра різних режимів. Надійність ЕЕС аналізують імовірнісними методами, оскільки відмови елементів ЕЕС і наслідки відмов мають випадковий характер. Враховуючи це, об'єктом досліджень виступає знижувальна підстанція, як один з структурних елементів енергосистеми. Під час дослідження показників надійності використовується логіко-аналітичний метод розрахунку, що застосовується тоді, коли кількість різних видів відмов системи невелика, а відмови системи полягають у погасанні одного або декількох вузлів живлення.

Безсумнівно, що забезпечення надійності на етапі проектування не обмежується лише вибором первинного обладнання та головних схем з'єднання. Не менш важливими аспектами є правильний розрахунок та улашту-

вання блискавкозахисту, схеми живлення власних потреб підстанції, схеми системи оперативного струму, алгоритми роботи релейного захисту та автоматики. Взагалі, питання надійності будь-якого елементу енергосистеми не знаходить остаточного вирішення по закінченню стадії проектування, а потребує подальшого вирішення в процесі монтажу, налагодження та експлуатації, де відіграють значну роль такі чинники як кваліфікація експлуатуючого персоналу, дотримання норм при проведенні ремонтних та ревізійних робіт тощо.

В ході дослідження будуть виконані наступні кроки:

1. Попереднє спрощення початкової схеми електричних з'єднань знижувальної підстанції шляхом еквівалентування однотипних елементів.
2. Перетворення еквівалентної схеми на заступну схему і розрахунок еквівалентних параметрів з використанням функцій алгебри логіки.
3. Обчислення кількісних показників надійності для еквівалентної схеми, зокрема функції працездатності S та ймовірнісних поліномів R .
4. Розрахунок числових значень кількісних показників надійності декількох головних схем підстанцій, наприклад, часу напрацювання головної схеми до відмови

Результатом даних досліджень стануть результати, що дадуть змогу якісно оцінити довгострокові переваги від встановлення декількох різних типів обладнання та зміни первинної схеми, прогнозувати потік відмов новозбудованих підстанцій та оцінити якість роботи реконструйованих об'єктів.

Список використаних джерел:

1. Журахівський А.В. Надійність електроенергетичних систем і електричних мереж: підручник / А. В. Журахівський, С. В. Казанський, Ю. П. Матеєнко, О. Р. Пастух. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017. – 456 с.
2. Журахівський А. В. Надійність електричних систем і мереж : навч. посіб. / А. В. Журахівський, Б. М. Кінаш, О. Р. Пастух. – Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2012. – 280 с.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА УСТАНОВКА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОННИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛІВ**Грініна В.О., Рой В.Ф.***Харківський національний університет міського господарства
ім. О.М.Бекетова, Україна, м. Харків*

Розроблена установка для експериментальних досліджень електронних явищ у провідникових матеріалів методами ультразвукової спектроскопії, яка використана для вивчення структури і фізичних властивостей провідникових кристалів шляхом вимірювання амплітуди і фази ультразвукових хвиль при їх проходженні через дослідний зразок. Пристрої для дослідження електронних властивостей провідникових матеріалів методами ультразвукової спектроскопії зазвичай містять високо-частотний генератор електромагнітних коливань, датчики ультразвуку та перетворювач ультразвукових хвиль в електромагнітний сигнал. Вони побудовані по двох-канальній напівмостовій схемі, в одну з плечей якої ввімкнений генератор синусоїдальної напруги з'єднаний послідовно з фазозсувником, підсилювачем сигналу, атеноатором, та приймачем, в другому плечі якої послідовно з'єднані генератор синусоїдальної напруги, модулятор фази та ультразвукові датчики, закріплені на досліджуваному зразку. З цього плеча на ультразвуковій датчик подаються зонду-ючі радіоімпульси, що проходять через досліджуваний зразок і порівнюються по-чергово по фазі і амплітуді з радіоімпульсами, які формуються в ланцюгу першого плеча. По величинам зміни фази, швидкості та амплітуді поглинання ультразвуку у досліджуваному зразку визначають його структуру і фізичні властивості.

Недоліком таких систем є малий діапазон вимірювання фази ультразвукового сигналу, що проходить через досліджуваний зразок, який не перевищує 360° електричних градусів, в той час, в деяких матеріалах фаза ультразвукового сигналу в залежності від структури та електронних властивостей дослідних зразків може перевищувати 1000° . Крім того, робота пристрою на єдиній фіксованій робочій частоті не дає змоги проводити дослідження широкого спектру електронних явищ в матеріалах та не дозволяє використати сучасні комп'ютерні технології для автоматизації процесу експериментальних досліджень, отримання більшого об'єму і якості інформації.

Задача - розширення діапазону вимірювання фази сигналу в дослідних зразках до декількох тисяч градусів, розширення діапазону використання робочих частот, представлення інформації про фазу і амплітуду сигналу у цифровому коді і автоматизація процесу експериментальних досліджень, збільшення об'єму та якості отримуваної інформації вирішена за рахунок застосування двох фазорозщеплюючих каскадів ($0^\circ \div 180^\circ$) і ($90^\circ \div 270^\circ$), та квадратурного конденсатора, а також датчиків фази і амплітуди, зв'язаних з реверсивними електродвигунами та аналого-цифровими перетворювачами сигналу фази і амплітуди. Стабілізовані по частоті синусоїдальні коливання стартової частоти з генератора 1 подаються одночасно до двох гілок напівмостової схеми пристрою: каналу зондуючого сигналу – модулятора фази, змішувача сигналів і датчиків ультразвуку а також до каналу сигналу порівняння – послідовно з'єднані фазорозщеплюючі каскади ($0^\circ \div 180^\circ$) і ($90^\circ \div 270^\circ$), квадратурний конденсатор та атеноатор 14. Сигнали зондуючий і по-

рівняння з обох гілок напівмостової схеми пристрою подаються до приймача 19, де відбувається їх геометричне складання (порівняння). При подачі на фазорозщеплюючі блоки 2 і 4 стабілізованих по частоті сигналів з генератора 1, вони формують розщеплені по фазі на 0° , 90° , 180° 270° сигнали однакової амплітуди. Ці сигнали прямують до чотирьох електродів квадратурного конденсатора 5, на загальному електроді якого відбувається їх геометричне складання. У проміжку між чотирма електродами і загальним електродом квадратурного конденсатора 5 розташований рухомий діелектричний ексцентрик, положення якого відносно 4-х електродів, визначає величину вихідного сигналу на загальному електроді конденсатора, а фаза цього сигналу лінійно залежить від кута повороту осі діелектричного ексцентрика. Поворот осі квадратурного конденсатора 5 на кут φ призводить до зміни фази сигналу порівняння на загальному електроді на той же кут φ , а при декількох обертах вісі конденсатора фаза сигналу змінюється на кут $\varphi = n \cdot 360^\circ$, (n – ціле число, яке дорівнює кількості обертів вісі квадратурного конденсатора, тобто, фаза сигналу змінюється на декілька тисяч градусів. Одночасно з подачею з ВЧ генератора до входів модулятора сигналу з фазою « 0° », а на два інших входи модулятора подаються сигнали з фазорозщеплюючого блоку з фазою 90° і 270° , амплітуда яких складає m частки амплітуди сигналу фази « 0° ». Згідно 4-х тактовою програмою роботи синхронізатора відбувається почергове геометричне складання сигналу з фазою « 0° » із сигналом із зменшеною амплітудою фазами 90° і 270° . В результаті, на виході формується модульований по фазі сигнал на величину $\pm \arctg m$ (m – частка сигналу з фазою 90° і 270°). Цей сигнал подається до входу змішувача частоти, а до другого входу змішувача подається сигнал з генератора-гетеродина і в якості сигналу робочої частоти подається на підсилювач частоти, сигнали якого модульовані імпульсами, і являють собою зондуючі імпульси, які прямують до датчиків ультразвуку, прикріплених до досліджуваного зразка.

Аналогічно, сигнал з виходу квадратурного конденсатора 5 подається на один з входів змішувача частоти 6, на другій вхід якого подається сигнал з генератора-гетеродина, з виходу якого сигнали прямують до підсилювача частоти, де вони модулюються і через атенюатор, у вигляді імпульсів сигналів порівняння, також прямують до приймача, де порівнюються з зондуючими сигналами, що пройшли через досліджуваний зразок. Формуються сигнали розбалансу по амплітуді і фазі у вигляді постійного струму, які після підсилення підсилювачами потужності подаються до входу реверсивних електродвигунів, які балансують по фазі і амплітуді напівмостову схему пристрою шляхом обертання вісі квадратурного конденсатора 5 і атенюатора і зміни, таким чином, амплітуди і фази сигналу порівняння до їх рівності із зондуючим сигналом. Представлення інформації про фазу і амплітуду у вигляді цифрового коду здійснюється за допомогою датчиків фази і амплітуди, в якості яких застосовують багатообертові потенціометри, вісі яких механічно з'єднані з осями реверсивних електродвигунів і виробляють сигнали постійної напруги, які пропорційні куту обертання їх осей. Сигнали з виходу датчиків фази і амплітуди прямують до аналогово-цифрових перетворювачів, де перетворюються в сигнали цифрового коду, які через інтерфейс прямують до ЕОМ. Таким чином досягається розширення діапазону вимірювання фази сигналу в дослідних зразках до декількох тисяч градусів, розширення діапазону робочих частот пристрою та представлення інформації про фазу і амплітуду сигналу у цифровому коді, що дає змогу автоматизувати процес експериментальних досліджень, збільшити об'єм та якість отримуваної інформації.

ПРОБЛЕМИ ТЕЛЕМЕХАНІЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІТИЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

Грініна В.О., Рой В.Ф.

*Харківський національний університет міського господарства
ім. О.М.Бекетова, Україна, м. Харків*

На сьогоднішній день в електроенергетиці України існують і експлуатуються декілька сотень районів електричних мереж, що використовують і обслуговують розподільні мережі напругою 0,38÷110 кВ. З метою підвищення надійності та ефективності їх роботи, економічності та якості електропостачання споживачів, в останні час відбувається інтенсивне впровадження систем телемеханіки та обчислювальної техніки з метою створення інтегрованих автоматизованих систем контролю та управління на всіх ієрархічних рівнях побудови цих систем. Основною метою телемеханізації електричних комплексів є забезпечення можливості дистанційного вимірювання робочих параметрів електрообладнання та дистанційного управління режимами їх роботи. Данні про режими роботи обладнання повинні передаватися на диспетчерський пункт за допомогою дискретних телесигналів або аналогових сигналів, які відображають значення напруги, струмів та потужності на шинах підстанцій. Прилади збору та передачі сигналів на диспетчерський пункт, а також передачі команд управління режимами роботи обладнання, повинні відповідати високим вимогам надійності, безвідмовності, строку експлуатації, кібербезпеки та електромагнітної сумісності. Важливим напрямком розвитку автоматизованих систем є інтеграція автоматизованого контролю та управління окремими структурними підрозділами районних електричних мереж в єдину інтегровану систему. Ця проблема може бути успішно вирішена лише шляхом використання стандартизованих рішень з інформаційного, технічного та програмного забезпечення автоматизованої системи диспетчерського управління підприємств електричних мереж. Основними напрямками реалізації цих завдань є побудова та раціональне використання ієрархічної системи моделей планування, ремонту та експлуатації електричних мереж та оперативне управління їх режимами, підвищення ефективності оперативно-диспетчерського управління розподільними електричними мережами, автоматизації збору, обробки та чіткого відображення отриманої інформації щодо режимів роботи обладнання. Ці науково-технічні вимоги, що стосуються проблем створення багаторівневих сучасних автоматизованих систем управління підприємствами електроенергетики ґрунтуються на основі галузевих методик та матеріалів, державних стандартів, враховуючі сучасні досягнення вітчизняної та зарубіжної науки і техніки в галузі електроенергетики. Реалізація цього напрямку дасть змогу забезпечити розвиток і впровадження нової техніки, оптимізації технологічних процесів і режимів роботи електроенер-

гетичного обладнання і електричних мереж, раціонального використання матеріалів і підвищення ефективності виробничо-господарської діяльності. Впровадження телемеханічних систем дає змогу скоротити чисельність обслуговуючого персоналу, зменшити простір обладнання, звільняє людину від роботи в небезпечних для здоров'я умовах.

Важливим фактором щодо забезпечення вищеназаних вимог надійності, безвідмовності та електромагнітної сумісності усіх автоматизованих систем контролю та управління, безумовної сумісності їх з живильною мережею, є використання високоякісних ефективних джерел живлення численних електронних приладів автоматизованої системи.

Запропоновано універсальне джерело живлення з корекцією коефіцієнта потужності, яке можливо використовувати в якості ефективного вторинного джерела живлення електронних телемеханічних систем різноманітного призначення, зі стабілізованою напругою різної величини і знаком, що забезпечує високу надійність та якість їх роботи, а також електромагнітну сумісність з живлячою мережею. Це досягається застосуванням в схемі джерела живлення активного коректора коефіцієнта потужності, який, на відміну від «пасивних» коректорів, що масово використовуються в недорогих джерелах живлення електронної апаратури і засновані на компенсації зсуву фаз між струмом і напругою живлячої мережі ємнісними і індуктивними елементами, - є набагато ефективнішими і забезпечує високе – до 0,98, значення коефіцієнта потужності а також високу якість та ефективне використання електричної енергії. Стабілізація вихідних напруг джерела живлення здійснюється за рахунок порівняння сигналу з датчика вихідної напруги із сигналом датчика опорної напруги і, після підсилювача сигналу розбалансу, регулює момент ввімкнення або вимкнення електронних ключів мостової схеми інвертора до моменту досягнення напругою навантаження номінальної величини.

За рахунок застосування в схемі джерела мостової інвертора і вихідного трансформатора досягається збільшення ефективної потужності джерела живлення майже удвічі порівняно з аналогами а також можливість отримати вихідні напруги різної величини і знаку. В приладі відсутній гальванічний зв'язок вихідних робочих напруг з мережею живлення, що гарантує повну безпеку персоналу при експлуатації даного пристрою, а також забезпечує електромагнітну сумісність з живлячою мережею.

ТОЧНІСТЬ ОБЛІКУ РЕАКТИВНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ СТАТИЧНИМИ ЛІЧИЛЬНИКАМИ

Грініна В.О.¹, Момот В.В.², Рой В.Ф.¹

¹ Харківський національний університет міського господарства
ім. О.М.Бекетова, Україна, м. Харків

² ПАТ «Полтаваобленерго», Україна, м. Полтава

Підвищення ефективності використання електроенергії (ЕЕ) напряму залежить від забезпечення достовірного вимірювання на всіх ділянках і рівнях її виробництва, що можливе лише за рахунок удосконалення методів та засобів вимірювань. В теперішній час масово впроваджуються сучасні багатофункціональні статичні (електронні) лічильники електроенергії (ЛЕ), що мають гнучку вимірювальну систему, яка налаштовується під час параметризації для роботи в трьох- або чотирьохпровідній лінії високої напруги (ВН) для прямого чи трансформаторного ввімкнення. Зазначені засоби обліку (ЗО), в порівнянні між собою та з індукційними ЛЕ мають різний алгоритм вимірювання ЕЕ, різні схеми підключення, а також досить часто фігурують в проблемних питаннях між електропередавальною організацією та споживачами у разі реорганізації точок обліку (ТО). Ситуація ще більш ускладнюється за наявності нерівномірного та несиметричного навантаження в реальних умовах роботи високовольтних електричних мереж (ЕМ). Дані аспекти в частині тимчасового виходу параметрів похибок вимірювань ЕЕ за встановлені межі не враховані в нормативних документах, в частині визначення похибки вимірювання ЕЕ та в технічному завданні на проведення державного метрологічного нагляду, для забезпечення єдності вимірювань під час проведення обліку. Вказані особливості та наявність проблемної ситуації між суб'єктами у разі виходу результатів вимірювань за встановлені межі, спонукали до дослідження стану комерційного обліку ЕЕ електронними ЛЕ з метою підвищення ефективності роботи систем контролю та обліку в трифазних трьохпровідних ЕМ напругою понад 1000 В, зокрема реактивної ЕЕ.

Визначити точність обліку реактивної ЕЕ можна методом безпосередньої оцінки, або методом порівняння з реактивною ЕЕ, вимірюною зразковим ЛЕ (переносним робочим еталоном). Перший метод є більш точним за умови включення досліджуваних ЛЕ в одну розрахункову схему. Тому для даного експерименту використовувались покази електронних ЛЕ типу «Элвин» ЕТ та НР-03, що мають однаковий клас точності (2.0), ввімкнені на ПС електропередавальної організації ПАТ «Полтаваобленерго», в ТО на кожному аналізованому приєднанні, включені в одну схему обліку по аналогії з ЛЕ активної та реактивної ЕЕ. При цьому середньоквадратична похибка схеми з двома ЛЕ класу 2,0 становила $\approx 2,8\%$. Завданням дослідження було визначення різниці в пока-

зах при вимірюванні реактивної ЕЕ на протязі певного періоду часу електронними ЛЕ різного типу.

З'ясувалось, що різниця в показках у більшості випадків значно виходить за межі середньоквадратичної похибки, а найбільша і стабільна різниця спостерігається при обліку генерованої в ЕМ реактивної ЕЕ. Були проведені дослідження у двох напрямках: дослідження обліку споживання-генерації реактивної ЕЕ на приєднаннях ПС-110/10 кВ електронними 3-елементними ЛЕ різного типу та аналогічне - для 2- і 3-елементних ЛЕ.

Найбільша похибка досягала близько 9%. При цьому спостерігалось зростання похибки з початку періоду дослідження та поступове її зменшення до встановлених меж наприкінці розрахункового періоду. Слід зазначити, що при індуктивному характері навантаження значення виміряної реактивної ЕЕ значно перевищує аналогічне при ємнісному навантаженні.

Детальний аналіз похибок вимірювань у відсотковому відношенні показує, що похибка вимірювань реактивної ЕЕ ємнісного характеру є змінною та коливається в межах $\pm 20\%$, що значно перевищує допустимі межі для ЗВТ класу точності 2,0.

Аналіз отриманих результатів дослідження свідчить, що при вимірюванні реактивної ЕЕ трьохелементними ЛЕ різного типу виникає суттєва різниця показів. Якщо взяти за основу один з ЛЕ, як зразковий, то похибка вимірювань є нестабільною під час обліку спожитої реактивної ЕЕ та значно виходить за допустимі межі під час її обліку. Аналогічні дослідження проведені також й під час вимірювання реактивної ЕЕ у разі використання на приєднаннях ПС 110/10 кВ двох- та трьохелементних багатофункціональних електронних ЛЕ різного типу. При цьому слід зазначити, що лічильники типу ЕТ та НР-03 мають клас точності 0.5 і за індуктивного режиму відносна похибка значно виходить за встановлені межі для усіх ТО на досліджуваних приєднаннях.

Таким чином використання електронних багатофункціональних ЛЕ різного типу (в т.ч. 2- та 3-елементних) для вимірювання реактивної ЕЕ в трифазних трьохпроводних ЕМ напругою 6 ÷ 10 кВ та вище – відчутно впливає на точність обліку реактивної ЕЕ, що в свою чергу, підтверджує сумніви щодо можливості забезпечення єдності та достовірності вимірювань ЕЕ у високовольтних ЕМ за наявності сильно вираженого індуктивного чи ємнісного режиму навантаження в ТО на приєднанні електроприймачів. Тому необхідно рекомендувати можливість застосування ЛЕ виключно одного типу з єдиними уніфікованими принципами вимірювання (обчислення) реактивної потужності на основі чітких визначень поняття «реактивна потужність ЕЕ».

ВИЯВЛЕННЯ АКУСТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОРОННОГО РОЗРЯДУ

Гриб О.Г., Дем'яненко Р.І., Карпалюк І.Т.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Україна, м. Харків*

Якість електроенергії грає дуже важливу роль у сучасному світі тому що майже всі сучасні прилади дуже від неї залежать. Тому поступово критерії щодо якості збільшують і приділяється більш пильне значення якості електроенергії. Одна із проблем пов'язана із якістю це коронний розряд. Коронний розряд спотворює форму напруги в лінії та струмопровідному обладнанні електричних мереж. Для більш швидкого виявлення коронного розряду, було запропоновано виявляти його за допомогою акустичного обладнання. Експеримент проводили в малому високовольтному електричному залі (лабораторія НТУ «ХПІ»). Коронний розряд отримували на струмоведучих частинах що під'єднані до високовольтного ізолятора (межа пробою 35 кВ). Заміри робилися декількома приладами, але основним був мікрофон із лінійною АЧХ. В результаті ми отримали амплітудні криві акустичного сигналу від корони різних напруг, які були розкладені на частотні спектри для різних напруг. Пікові значення спостерігалися на частотах кратних 50 Гц, а зовсім малі на інтергамоніках. В результаті експерименту було виявлено можливість виявляти коронний розряд за допомогою акустичного метода, роботи в цьому напрямі вважаємо за доцільними продовжити.

Список використаних джерел:

1. Анализ и оценка экономических ущербов от низкого качества электрической энергии: Монография / [Онищенко В.А., Самойленко И.А., Гриб О.Г., Жаркин А.Ф., Васильченко В.И., Ушаповский К.В., Сендерович Г.А., Светелик А.Д., Кондратенко К.И., Довгалюк О.Н., Щербакова П.Г., Захаренко Н.С.] / Под ред. В.А. Онищенко. – Харьков: ПП «Граф-Ікс», 2013. – 329 с.
2. Качество электрической энергии. Том2. «Контроль качества электрической энергии» Под ред. Гриба О. Г. – Харьков: Монография ПП «Граф-Ікс», 2014. – 244 с.
3. Гриб О. Г., Праховник А. В., Тесик Ю. Ф., Жаркін А. Ф., Новський В. О., Калінець В. П., Красінський О. Л., Довгалюк О. М., Светелік О. Д. Автоматизовані системи обліку та якості електричної енергії/ під ред. Гриба О. Г. – Харків: ПП «Ранок-НТ», 2012. – 516 с.

МОНІТОРИНГ ЯКОСТІ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ ЗА УМОВИ ЦИФРОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Гриб О.Г., Дем'яненко Р.І., Карпалюк І.Т.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Україна, м. Харків*

Якість електроенергії грає дуже важливу роль у сучасному світі тому що майже всі сучасні прилади дуже від неї залежать. Поступово системи контролю вдосконалюється. Що дає змогу використовувати енергоресурси більш ефективно. Зараз використовуються цифрові засоби контролю. А в той же час з кожним роком відсоток генерація енергії за допомогою альтернативних джерел, але зростання обсягів малої генерації додає проблем із якістю електрики. Одним із факторів, які впливають на якість електроенергії є корона. Для виявлення коронного розряду найбільш перспективними вважаємо опосередковані методи діагностики, тобто діагностика проводиться на відстані і для виявлення корон такі методи опираються наприклад на світовий потік та на збільшення температури внаслідок корони. Тому було запропоновано інший метод – діагностика акустичного спектру. Цей метод пропонується використовувати в системах моніторингу технології Smart Grid, за допомогою мікрофонів які знаходяться в цифрових пристроях. Отримані файли обробляються в MATLAB і де ми можемо побачили акустичний спектр коронного розряду. Перевагою даного метода є використання не лише дорого цифрового обладнання, а також широко розповсюджених цифрових приладів.

Список використаних джерел:

1. Анализ и оценка экономических ущербов от низкого качества электрической энергии: Монография / [Онищенко В.А., Самойленко И.А., Гриб О.Г., Жаркин А.Ф., Васильченко В.И., Ушаповский К.В., Сендерович Г.А., Светелик А.Д., Кондратенко К.И., Довгалюк О.Н., Щербакова П.Г., Захаренко Н.С.] / Под ред. В.А. Онищенко. – Харьков: ПП«Граф-Ікс», 2013. – 329 с.
2. Гриб О. Г., Карпалюк І. Т., Швець С. В. Майбутнє сучасної енергетики - перехід до єдиного цифрового середовища енергетичних комплексів / II Всеукраїнська науково-технічна конференція «Енергоефективність та енергетична безпека електроенергетичних систем (EEES-2018)». Збірник наукових праць. Харків : «Друкарня Мадрид», 2018. – С 41-43
3. Гриб О. Г., Праховник А. В., Тесик Ю. Ф., Жаркін А. Ф., Новський В. О., Калінчик В. П., Красінський О. Л., Довгалюк О. М., Светелік О. Д. Автоматизовані системи обліку та якості електричної енергії/ під ред. Гриба О. Г. – Харків: ПП «Ранок-НТ», 2012. – 516 с.

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ В ПРОСТОРОВО-ЧАСОВИХ КООРДИНАТАХ

Громов О.О.

*Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна, Україна, м. Дніпро*

Методика просторово-часового розрахунку систем тягового електропостачання представляє собою аналітичне описання основних електричних процесів кусочно-заданими функціями двох змінних. Методику можна використати для оптимізаційних розрахунків та визначення керуючого впливу при підсиленні систем тягового електропостачання або застосуванні підходів керованого електропостачання.

Дослідження показали, що найбільш узагальнюючим є отримання результатів в просторово-часових координатах, без яких неможливе виконання оптимізаційних розрахунків системи тягового електропостачання. Саме просторово-часове уявлення всіх електричних величин, які необхідні для розрахунків систем тягового електропостачання, дозволяє побудувати інтелектуальні системи керування режимами систем тягового електропостачання.

Для реалізації принципів просторово-часового моделювання необхідно розробити модель, яка на підставі вихідних даних у вигляді графіку руху, тягових розрахунків або режимних карт, схеми живлення та секціонування ділянки, даних режимів напруги системи зовнішнього електропостачання дозволить виконувати електричні розрахунки системи тягового електропостачання, які включають в себе функції розподілу струму, спаду напруги та втрат потужності в контактній мережі, оптимізаційні розрахунки, які складаються з пошуку оптимального рівня напруги на кожній тяговій підстанції, пошук кількості та місця встановлення підсилюючих пунктів, пошук закону управління керованими підсилюючими пунктами, закони управління пристроями компенсації реактивної потужності на змінному струмі, розрахунки параметрів режиму системи електропостачання, а саме показники якості електричної енергії, величини напруги, струму, кутів зсуву фаз на тягових підстанціях, втрати в елементах системи електропостачання.

Розроблена модель повинна реалізовуватись у вигляді програмного комплексу, який виконуватиме розрахунок режимних показників системи тягового електропостачання для залізниць постійного та змінного струму, а саме значень фідерних і первинних струмів, розподілу струмів в контактній мережі, втрат напруги, потужності, витрат електричної енергії та основних показників якості електроенергії в системі тягового електропостачання з врахуванням технічних засобів поліпшення якості електричної енергії; виконання оптимізаційних розрахунків оптимальних параметрів системи тягового електропостачання та визначення законів управління технічними засобами з метою підвищення ефективності режиму роботи системи тягового електропостачання.

АНАЛІЗ РОЗПОДІЛУ СТРУМУ В ТЯГОВІЙ МЕРЕЖІ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД КІЛЬКОСТІ ПІДКЛЮЧЕНИХ ВІДСМОКТУЮЧИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Данилов О.А., Коршун В.В.

*Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна, Україна, м. Дніпро*

На початку електрифікації залізниць на змінному струмі використовувалась система з зворотнім проводом і відсмоктуючими трансформаторами.

Відсмоктуючі трансформаторами (ВТ) використовуються в системі тягового електроживлення для зменшення електромагнітного впливу на суміжні лінії. Ця система широко використовувалася на початку електрифікації залізниць на змінному струмі. Використання цієї схеми дозволяло значно зменшити електромагнітний вплив на лінії зв'язку. Найбільший захисний ефект має схема живлення з відсмоктуючими трансформаторами і проводом зворотнього струму, яка дозволяє зменшувати електромагнітний вплив на повітряні лінії в 4-10 разів.

В якості відсмоктуючих трансформаторів використовують однофазні масляні трансформатори з алюмінієвими обмотками. Первинну обмотку відсмоктуючого трансформатора підключають у розріз контактної мережі в місцях сполучення анкерних ділянок. Паралельно первинній обмотці відсмоктуючого трансформатора встановлюють нормально розімкнений роз'єднувач. Така схема дозволяє швидко відновлювати живлення в разі виходу трансформатора з ладу, чи при його демонтюванні. Трансформатори розташовують приблизно через 4 км. Вони встановлюються зазвичай без огорожень на чотирьох залізобетонних стійках. Останнім часом значно збільшилися випадки крадіжок і вандалізму. Достатньо поширені зливи масла з трансформаторів. При навантаженні такі трансформатори перегріваються і виходять з ладу. При цьому змінюється схема живлення і навіть знеструмлюється дільниця. Для швидкого відновлення руху первинну обмотку трансформатора шунтують роз'єднувачем.

Захисні властивості схеми живлення з відсмоктуючими трансформаторами залежать від струму в рейках і в зворотньому проводі. Ці струми в значній мірі залежать від розташування навантаження на дільниці. Був проведений аналіз схем, коли зашунтовані один чи декілька трансформаторів на різних відстанях від підстанції. Для аналізу була побудована модель в програмному середовищі MatLab. Модель складала одноколійна дільниця з 10 відсмоктуючими трансформаторами, які можна було зашунтувати перемикачами. Розрахунки проводилися при переміщенні однакового навантаження через кожні 500 метрів. При нормальному режимі, коли всі трансформатори підключені, струм повертається на підстанцію по зворотньому проводу. Дослідження показали, що на дільниці з відключеним трансформатором зворотній струм розподіляється

між рейками і зворотнім проводом в залежності від їх опору. Для зворотнього проводу А-185 і рейок Р-65 струм розподіляється приблизно 1:3. Струм в зворотньому проводі залежить не тільки від співвідношення опорів, а й від відстані між робочими трансформаторами. При трьох відключених підряд трансформаторів ця відстань дорівнювала 12 км. При збільшенні відстані збільшується шунтуюча дія землі і струм в зворотньому проводі ще більше зменшується. Зменшення струму в проводі відбувається тільки на ділянках з відключеними трансформаторами. Відповідно і часткове зменшення захисних властивостей цієї схеми живлення відбувається тільки на ділянках з відключеними чи демонтованими трансформаторами. На ділянках з робочими трансформаторами струм протікає по зворотньому проводу. Розрахунок було виконано для контактної підвіски ПБСМ70+МФ85, зворотнього проводу А-185 і рейок Р-65.

УДК 621.31

АНАЛІЗ ВПЛИВУ РЕЖИМІВ РОБОТИ ТЯГОВОГО ВИПРЯМЛЯЧА НА ЯКІСТЬ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ

Данилов О.А., Кравець О.В.

*Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна, Україна, м. Дніпро*

Якість електричної енергії нерозривно пов'язана з поняттям електромагнітної сумісності технічних засобів. Відповідність якості електроенергії стандартам необхідна для нормальної роботи всіх споживачів електричної енергії, які підключені до даного джерела живлення. На тягових підстанціях постійного струму електрифікованих залізниць трансформатори власних потреб і тягові агрегати з випрямлячами підключаються до однієї шини. Власним потребам на тягових підстанціях приділяється особлива увага, тому що від шин власних потреб живиться вся залізнична автоматика, сигналізація і блокування. Тобто від надійності і якості власних потреб залежить безпека перевезень.

Кафедрою «Інтелектуальні системи електропостачання» Дніпровського національного університету залізничного транспорту в останні роки було проведено ряд вимірювань якості електричної енергії на тягових підстанціях постійного струму. Вимірювання проводились аналізатором якості електроенергії EDL-175 фірми SATEC. Цей аналізатор дозволяє вимірювати всі параметри якості електроенергії. Записувалися параметри первинних і вторинних струмів і напруг трансформатора власних потреб.

Вимірювання показали значні відхилення якості електроенергії. Аналіз показав залежність якості електричної енергії на шинах 10 кВ, до яких підключений трансформатор власних потреб, від роботи випрямляча, який також підключений до шин 10 кВ.

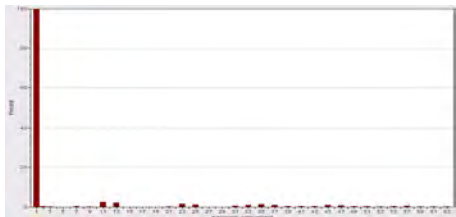


Рисунок 1 – Величини гармонійних складових напруги власних потреб

На досліджуваній підстанції використовується 12-ти пульсовий силовий агрегат. Порівняння осцилограм виявило явну залежність спотворення синусоїдальності напруги від характерних змін струму, які обумовлені переключеннями силових вентилів при роботі випрямляча. Основний вплив випрямляча виявився в появі 11 та 13 гармонік в напрузі власних потреб, що помітно по гістограмі (рис.1).

Була виявлена залежність величин цих гармонік від тягового навантаження. Чим більше тягове навантаження, тим більша величина 11 та 13 гармонік

УДК 621.311

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ В ТЯГОВІЙ МЕРЕЖІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ПРИ КОРОТКИХ ЗАМИКАННЯХ

Данилов О.А., Рябков К.А.

*Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна, Україна, м. Дніпро*

Останнім часом для захисту електричних мереж все більше впроваджуються мікропроцесорні комплекти. З'явилися багатофункціональні мікропроцесорні комплекти і для захисту фідерів контактної мережі постійного струму. Мікропроцесорні захисти в своїй більшості виконують ті самі функції по тому самому алгоритму, що і звичайний релейний захист. Спеціалізовані мікропроцесорні захисти фідерів контактної мережі мають в своєму складі наступні захисти:

- максимальний струмовий захист;
- захист по збільшенню струму за проміжок часу;
- захист по швидкості зростання струму;
- захист по зменшенню опору;
- захист по мінімальній напрузі.

Всі ці захисти працюють автономно, незалежно один від одного. На сьогоднішній день не існує інтелектуального захисту, який би прораховував зміну декількох параметрів в часі і по характеру зміни електричних величин міг би однозначно визначити аварійний режим на самому початку.

Складність в розрахунках полягає в особливостях вимірювання електричних величин на фідерах тягової підстанції постійного струму. Мікропроцесорний захист вимірює тільки струм і напругу. Всі інші параметри (опір, швидкість зміни струму) мікропроцесорний захист розраховує. Струм вимірюється безпосередньо

через шунт або струмовий датчик. Тому виміряні значення струму відповідають дійсному струму, який протікає в цей час через фідер. Напругу вимірюють через дільник, який підключають між фідером $+3,3$ кВ і внутрішнім контуром заземлення. Треба зазначити, що шина $-3,3$ кВ в тяговій мережі постійного струму гальванічно не з'єднана ні з внутрішнім, ні з зовнішнім контуром заземлення тягової підстанції. Електричний зв'язок між контуром заземлення і шиною $-3,3$ кВ проходить через перехідний опір рейки - земля.

Наступна проблема полягає в наявності фільтр-пристрою, який представляє собою LC контури. Підстанція і контактна мережа мають активно-індуктивний характер (RL). При чому з різними постійними часу (T). Постійна часу підстанції більша постійної часу контактної мережі. Чим далі від підстанції відбулося коротке замикання, тим буде менша результуюча постійна часу. Наявність ємності фільтр-пристрою переводить перехідний процес у другий порядок, що значно ускладнює розрахунки зміни струму і напруги при к.з. При цьому буде коливальний процес.

Кафедрою «Інтелектуальні системи електропостачання» було проведено декілька випробувань коротких замикань з різними відстанями до підстанції на різних дільницях. Також є велика кількість осцилограм коротких замикань, записаних автоматично реєстраторами. Величини струмів і напруг записувались з інтервалом не більше 1 мс. По записаним даним розраховувались інші параметри: опір, зміна струму за різні проміжки часу. Потім розраховані дані накладалися на осцилограми струмів і напруг. Аналіз осцилограм показав, що швидкість зміни струму к.з. на одній дільниці може змінюватись в широких межах, в залежності від відстані до підстанції. Експериментальні дані складали від 170 до 700 А/мс для однієї міжпідстанційної зони. Коливальний процес зміни напруги при к.з. впливає на всі інші характеристики. Чим ближче к.з., тим більша амплітуда коливань. Для швидкого визначення к.з., захист може аналізувати зміну опору. При к.з. розрахований опір зменшується зі швидкістю, більшою, ніж струм. Крім того, амплітуда коливального процесу зміни опору значно менша ніж в напрузі.

УДК 621.316

АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ ОБЛАДНАННЯ ТЯГОВИХ ПІДСТАНЦІЙ УКРАЇНИ

Данилов О.А., Чижик А.А.

*Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна, Україна, м. Дніпро*

Залізничний транспорт є важливою складовою економіки України і має значний вплив на розвиток країни в цілому. Електрифіковані залізниці України

відіграють важливу роль у здійсненні вантажних перевезень. Відмови пристроїв електропостачання приводять до затримки поїздів і зриву графіку руху.

Надійність функціонування електротехнічного обладнання підстанцій, електричних та тягових мереж залізниць залежить від його технічного стану. Електротехнічне обладнання має достатньо високі розрахункові показники надійності. Однак в процесі експлуатації під дією зовнішніх умов і режимів роботи його початковий стан безперервно погіршується, знижується експлуатаційна надійність і збільшується небезпека виникнення відмов.

На сьогодні значна частина обладнання електроенергетичної інфраструктури залізничного транспорту України вже вичерпала свій ресурс і потребує заміни або поетапної реконструкції. Зношеність основних фондів електрогосподарства виробничого і невиробничого характеру сягає 80 %. Тому гостро стоїть питання про глибоку модернізацію пристроїв електропостачання.

Враховуючи економічний стан країни, необхідно визначити першочергові заміни, які дадуть найбільший приріст в підвищенні надійності обладнання. Проаналізувати і розділити основне обладнання по кількості відмов і таким чином визначити обладнання для першочергової заміни. Для виявлення обладнання тягових підстанцій, стану якого необхідно приділити першочергову увагу, був зроблений аналіз відмов по щорічним звітам «Аналіз роботи господарства електрифікації та електропостачання» за останні десять років.

Аналіз показав, що основним обладнанням, за рахунок якого відбувається до 80 % порушень нормальної роботи тягових підстанцій електрифікованих залізниць України за досліджуваний період, є: вимикачі, трансформатори (як силові, так і вимірювальні), пристрої релейного захисту, ізолятори. Також аналіз показав, що основні порушення нормальної роботи тягових підстанцій відбуваються за рахунок виходу з ладу високовольтних вимикачів (30 % від загальних відмов електрообладнання).

У електроенергетичних системах високовольтні вимикачі є одним з найбільш відповідальних видів електрообладнання. Якість їх роботи визначає ступінь надійності і енергобезпеки роботи всієї системи передачі і розподілу електроенергії як у нормальних, так і у аварійних режимах. За допомогою високовольтних вимикачів здійснюються відключення аварійних струмів короткого замикання, оперативні переключення. Залежно від роботи вимикача його комутаційний ресурс витрачається нерівномірно. Будь-яким вимикачем можна виконати набагато більше операцій комутацій номінального робочого струму, ніж аварійного, який у декілька десятків разів перевищує робочий струм вимикача.

Експлуатація вимикачів після вичерпання їхнього комутаційного ресурсу призводить до значних збитків. На кожній підстанції є свої “вузькі” місця і проблемне обладнання, але при обмеженому фінансуванні, для підвищення надійності, в першу чергу при модернізації треба приділяти увагу високовольтним вимикачам.

АНАЛІЗ НЕДОЛІКІВ СУЧАСНИХ МІКРОПРОЦЕСОРНИХ СИСТЕМ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ТА ПРОТИАВАРІЙНОЇ АВТОМАТИКИ**Довгалюк О.М., Мірошник К.А.***Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Україна, м. Харків*

Протягом останніх років у всьому світі спостерігається стійка тенденція щодо переходу до використання на електроенергетичних об'єктах пристроїв релейного захисту та протиаварійної автоматики (РЗПА), виконаних на мікропроцесорній (МП) базі натомість традиційних електромеханічних (ЕМ). Це великою мірою обумовлено як підвищенням вимог, що висуваються до систем РЗПА у відношенні швидкості спрацьовування та чутливості до навіть відносно незначних змін контролюємих параметрів, так і стрімким розвитком МП техніки [1, 2].

Так, МП пристроям РЗПА безумовно притаманні певні переваги відносно систем, побудованих на реле ЕМ типу, однак, як показує опит промислової експлуатації, впровадження новітніх комплексів захисту доволі часто призводить не до очікуваного підвищення надійності та безвідмовності роботи обладнання, а навпаки – до збільшення потоку відмов. Проаналізувавши існуючі звіти стосовно причин неспрацьовувань МП систем релейного захисту, та порівнявши їх з ЕМ системами, можна відзначити найбільш вагомі з них:

1. Низька механічна надійність. Не зважаючи на повну або майже повну відсутність у мікропроцесорних реле рухомих частин, вони так як і ЕМ пристрої РЗА схильні до розсихання ізоляційного покриття, а також до корозійних процесів, причому зазвичай - в значно більшій мірі, що потребує для них більш дбайливого ставлення, та створення спеціальних умов розміщення, що переважно не виконується у повному обсязі [3]. Також має місце швидке старіння самої напівпровідникової бази, що в процесі експлуатації постійно знаходиться під впливом протікаючого по ній струму, наприклад - висихання електролітичних конденсаторів і т.п., що потребує виконання більш частих та складних перевірок та відновлень обладнання, а при їх неможливості – і повної заміни окремих реле. В той час, як у ЕМ реле має місце переважно лише механічний знос, котрий по перше більш легко виявляється при регулярних оглядах обладнання, по друге - є значно більш розтягнутим у часі, так як для більшості реле виникає лише у моменти їх спрацьовування, що зазвичай при нормальних умовах роботи захищеного обладнання трапляється відносно рідко.

2. Електромагнітна сумісність таких реле також змушує бажати кращого, навіть незначні перенапруги істотно погіршують якісні показники роботи сис-

тем захисту, в той час як значні кидки струмів чи напруг інколи і зовсім стають причинами відмови цілих систем захисту, внаслідок як пошкодження окремих елементів, так і негативного впливу потужних електромагнітних полів на чутливі електронні компоненти. ЕМ реле, в свою чергу, є значно менш схильними до впливу подібних факторів.

3. Більшість МП комплексів поєднують у собі велику кількість захистів, в середньому замінюючи собою 3-5 навіть не окремих реле, а цілих систем РЗПА, що в разі їх пошкодження залишає захищаний об'єкт взагалі без захисту або потребує створення складних систем резервування [4].

4. Звичні для ЕМ реле огляди та відновлення більш не є актуальними для МП систем РЗА, так як їх використання майже унеможливорює виявлення внутрішніх пошкоджень без використання складних діагностичних комплексів, а в більшості випадків питання працездатності даних реле повністю покладено на системи самодіагностики, котрі, як показує опит експлуатації, є доволі ненадійними, та і принципово не можуть охопити усі компоненти пристрою [5].

5. МП пристрої є вразливими як до несанкціонованих втручань у програмну частину, так і до її непередбачених збоїв, що є принципово неможливим для ЕМ систем РЗА [6].

6. На сьогодні ринок МП пристроїв РЗА є доволі об'ємним, що обумовлено більш простим виготовленням та відносно невисокими виробничими витратами, що однак не робить їх дешевшими за ЕМ реле. Окрім цього, велике різноманіття виробників з їх власним баченням внутрішньої компоновки та алгоритмів роботи реле ускладнює обслуговування різнотипного обладнання та повністю унеможливорює заміну або компонування пристроїв різних виробників, а вихід з ладу навіть окремих елементів потребує заміни усього блоку захисту.

7. Окремо можна також відзначити надзвичайно високу чутливість МП пристроїв РЗА до іонізуючого випромінювання, коли навіть невелике зростання фоновому рівня призводить до зміни внутрішньої структури електронних компонентів, а також до непрогнозуємої поведінки пошкоджених реле [7].

8. Сама внутрішня будова МП реле з великої кількості елементів призводить до зменшення надійності, котра є зворотнопропорційною кількості складових компонентів, та і в цілому, таке ущільнення компонентів призводить до гіршого відводу тепла, зменшення товщини як самих з'єднувальних провідників, так і їх ізоляційного покриття, виникненню взаємного паразитного впливу окремих компонентів, що істотно знижує точність їх роботи.

9. До переваг МП пристроїв захисту відносять їх можливість реєстрації передаварійних та аварійних значень контрольованих параметрів, що істотно спрощує подальший аналіз причин пошкоджень, але подібний функціонал не є безпосередньою задачею реле [8]. Існує широкий асортимент спеціальних пристроїв та систем, таких як, наприклад, SCADA, котрі краще справляються з означеними функціями та успішно експлуатуються в комплексі з ЕМ реле.

У той же час, не зважаючи на очевидні недоліки сучасних МП систем РЗА, вони є більш ефективними в системах, де за умовами експлуатації є необхідними часті та постійні спрацьовування реле (тисячі чи навіть мільйони комутацій), або необхідна надзвичайно висока чутливість до зміни параметрів та швидкість реагування, які наразі є недоступними для ЕМ пристроїв.

Отже, МП пристрої є доволі новим та перспективним різновидом реле, але на даному етапі свого розвитку вони безумовно потребують значної доробки, тоді, можливо, з часом вони і зможуть повністю замінити ЕМ реле, але лише при виконанні жорстких вимог відносно надійності роботи. Допоки ж вони залишаються доволі ненадійними пристроями, що унеможливорює їх самостійне використання у відповідальних системах захисту.

Список використаних джерел:

1. Яндутьський О.С., Дмитренко О.О. Релейний захист. Цифрові пристрої релейного захисту, автоматики та управління електроенергетичних систем: навч. посіб. / О.С. Яндутьський, О.О. Дмитренко; під загальною редакцією д.т.н. О.С. Яндутьського. – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 102 с.
2. Гуревич В.И. Уязвимости микропроцессорных реле защиты. Проблемы и решения / В.И. Гуревич. – Москва: Инфра-Инженерия, 2014. – 256 с.
3. Гуревич В.И. Испытания микропроцессорных реле защиты / В.И. Гуревич // PRO Электричество. – 2008. – №1 (25). – С. 41–43.
4. Бунько, В. Я. Аналіз методів та засобів підвищення надійності елементів релейного захисту / В. Я. Бунько // Технологический аудит и резервы производства. – 2015. – № 3/1(23). – С. 26-30.
5. Лямец Ю.Я., Кержаев Д.В., Нудельман Г.С., Романов Ю.В. Многомерная релейная защита / Ю.Я. Лямец, Д.В. Кержаев, Г.С. Нудельман, Ю.В. Романов // Тезисы докладов Второй Международной научно-технической конференции «Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем». – Москва. – 2009. – С. 105-111.
6. Борисенко Є.О. Особливості режимів функціонування мікропроцесорних систем для задач підвищення надійності автоматизованих систем управління енергооб'єктів / Є.О. Борисенко // Системи обробки інформації. – 2017. – № 3(149). – С. 81-84.
7. Clark O.M., Gavender R.E. Lighting Protection for Microprocessor-based Electronic Systems / O.M. Clark, R.E. Gavender // IEEE Transactions on Industry Applications. – vol. 26. – № 5. – 1990.
8. Шнеерсон Э.М. Цифровая релейная защита / Э.М. Шнеерсон. – М.: Энергоатомиздат, 2007. – 549 с.

ОСОБЛИВОСТІ ВИНИКНЕННЯ РЕЗОНАНСНИХ ПЕРЕНАПРУГ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

Довгалиук О.М., Піротті О.Є., Шевченко С.Ю.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Україна, м. Харків*

Електричні системи містять у великій кількості елементи, здатні накопичувати електричну або магнітну енергію - ємності і індуктивності. Комбінація цих елементів становить цілий ряд коливальних контурів, тому в електричних системах і мережах є великі потенційні можливості для розвитку резонансних явищ [1, 2].

У нормальних режимах роботи ці коливальні контури зашунтовані навантаженням, тому в них неможливі істотні коливання з небезпечними амплітудами. Однак при деяких схемах перемикачів в системі, головним чином аварійних, частина коливальних контурів від'єднується від навантаження, і в них з'являється можливість виникнення вільних коливань.

Резонансні перенапруги при насиченні магнітопроводів електричних машин і трансформаторів, які мають нелінійні характеристики намагнічування, називаються ферорезонансними і є одними з найбільш небезпечних для електроустаткування і складними для аналізу видами перенапруг. Імовірність виникнення резонансних перенапруг збільшується зі збільшенням протяжності кабельних ліній і ємності мережі, штучним підтриманням підвищеної напруги в мережі з метою компенсації втрат, наявністю слабонавантажених трансформаторів, використанням в магнітних системах трансформаторів матеріалів з поліпшеними характеристиками, що підвищують їх індуктивність і шунтують ємність.

Залежно від параметрів резонансних контурів ферорезонансні перенапруги можуть виникати на основній частоті, вищих гармоніках і на субгармоніках. Як показують результати численних досліджень і досвід експлуатації промислових мереж, найбільш небезпечні ферорезонансні напруги виникають на промісловій частоті.

У мережах з ізолюваною нейтраллю або дугогасним реактором ферорезонанс може виникати в повнофазних режимах роботи в мережі при наявності індуктивності з сердечником, що насичується, включений паралельно фазній ємності мережі на землю. Такою індуктивністю часто є обмотка трансформатора напруги. Однак найбільш вірогідною схемою для розвитку ферорезонансу є неповнофазні режими, викликані обривом фазного проводу або перегоранням запобіжника, а також неодноразовим відключенням (0,04 с і більше) всіх трьох фаз комутаційним апаратом [3].

Небезпека ферорезонансу при неповнофазних режимах полягає як у високих амплітудах перенапруг, що перевищують рівень ізоляції окремого обладнання (наприклад, електродвигунів), так і в тривалості їх впливу, яке відповідає часу існування неповнофазного режиму в мережі.

Неповнофазний режим призводить до ферорезонансного перетворення однофазної напруги в трифазну. Напрямок чередування фаз при цьому може встановитися як прямий, так і зворотній. У першому випадку ферорезонанс призводить до тривалого підвищення напруги до $2.2...2.3U_{фм}$. При зворотньому чередуванні відбувається перекидання фази і підвищення однієї з фазних напруг до $3.8...4.2U_{фм}$. При цьому можливі пошкодження вентильних розрядників, нелінійних обмежувачів перенапруг і трансформаторів напруги.

Ферорезонанс в промислових мережах, як правило, виникає при замиканні фази на землю у джерела живлення при роботі трансформатора в кінці лінії з ізолюваною нейтраллю, при відключенні (обриві) однієї або двох фаз на первинній стороні трансформатора, при роботі трансформатора на холостому ході, при виникненні резонансного контуру на промисловій частоті, утвореного ємністю лінії і індуктивністю трансформатора. Режим заземлення однієї фази у джерела напруги і обриву фази з боку трансформатора зазвичай створюється при пошкодженнях проводів. Режим з роз'єднаними однією або двома фазами на первинній стороні трансформаторів виникає при спрацьовуванні запобіжників, відмові однієї або двох фаз вимикачів і при неодночасності комутації його полюсів.

При проектуванні і експлуатації мереж необхідно вживати всі заходи конструктивного і схемного характеру щодо недопущення виникнення умов, сприятливих для виникнення ферорезонансу. Слід враховувати, що відповідно до рекомендацій міжнародної електротехнічної комісії, квазістаціонарні перенапруги ферорезонансної природи не повинні впливати на вибір параметрів захисних пристроїв.

Список використаних джерел:

1. Tugay. Y. The resonance overvoltages in EHV network. Proceedings of IEEE Sponsored Conference EPQU'09 – International Conference on Electrical Power Quality and Utilization, Poland, Lodz, September 15-17, 2009. – pp. 14-18.
2. Кузнецов В.Г., Тугай Ю.І., Кучанський В.В., Лиховид Ю.Г., Мельничук В.А. Резонансні перенапруги у несинусоїдному режимі магістральної електричної мережі / Електротехніка і Електромеханіка. – 2018. – №2. – С. 69-73.
3. Кучанський В.В. Аномальні перенапруги в магістральних електричних мережах із джерелами спотворень / Світогляд. – 2018. – №4 (72). – С. 34-39.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ 0,4 КВ

Довгалюк О.М., Саїдов Ш.Н., Яковенко І.С.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Україна, м. Харків*

На сьогоднішній день існує стійка тенденція зростання попиту на електроенергію з боку споживачів при одночасному підвищенні вимог до її якості, збільшення частки розподіленої генерації у загальній структурі виробництва енергії та запровадження нового ринку електричної енергії в енергосистемі України. В такій ситуації умови функціонування розподільних електричних мереж (РЕМ) змінюються та вимоги до забезпечення якості надання послуг з розподілу та постачання електричної енергії зростають. В умовах реформування енергетичного ринку України РЕМ виділені в окрему структурну одиницю і відіграють важливу роль у забезпеченні нормальної роботи роздрібного ринку електричної енергії.

Для покращення роботи таких мереж необхідно провести заходи, які дозволять РЕМ підвищити ефективність. На рис. 1 відображено класифікацію таких заходів.



Рисунок 1 – Класифікація заходів щодо підвищення ефективності роботи РЕМ

Кількісне оцінювання ефекту від впровадження запропонованих заходів щодо підвищення ефективності функціонування РЕМ України є дуже важливим для висновку щодо їх доцільності. Виконаний аналіз досвіду інших країн показав, що для вирішення цієї задачі застосовується багато методів. Необхідність одночасного врахування багатьох параметрів технічного і економічного характеру є суттєвою вимогою при рішенні цієї задачі.

Таким чином, для оцінки ефективності впровадження заходів для підвищення надійності роботи цих мереж доцільно використовувати техніко-економічний критерій, який враховує особливості роботи РЕМ в структурі нового ринку електричної енергії в Україні:

$$K_{ef}(x) = \sum_{m=1}^M w_{R_m} \cdot R_m(x) + w_C \cdot C(x) + w_K \cdot K(x) + w_{\eta_{CHE}} \cdot \eta_{CHE}(x), \quad (1)$$

де x – номер групи заходів з підвищення надійності функціонування РЕМ, який характеризується вектором параметрів мережі; $R_m(x)$ – індекс надійності РЕМ (SAIDI, SAIFI, MAIFI, ENS тощо), значення якого визначається відповідно до [1]; M – кількість індексів надійності електричної мережі, які враховуються при розрахунку; $C(x)$ – сумарні витрати системи розподілу електричної енергії на заходи з підвищення надійності роботи РЕМ; $K(x)$ – сума компенсації споживачам за недотримання гарантованих стандартів якості надання послуг з електропостачання, яку оператор системи розподілу нараховує і надає споживачу відповідно до [2]; $\eta_{CHE}(x)$ – коефіцієнт корисної дії (ККД) систем накопичення енергії (CHE), які застосовуються в РЕМ; w_{R_m} , w_C , w_K , $w_{\eta_{CHE}}$ – вагові коефіцієнти, які враховують значущість індексів надійності електричної мережі, сумарних витрат на заходи з підвищення надійності $C(x)$ та компенсації споживачам за недотримання стандартів якості надання послуг з електропостачання $K(x)$ відповідно до поточного стану на ринку електричної енергії, а також ККД застосовуваних CHE $\eta_{CHE}(x)$.

Для РЕМ, розташованої на території м. Харків, були розроблені групи заходів з підвищення надійності електропостачання споживачів та ефективності функціонування мережі. Розрахунок відповідно до розробленого критерію показав, що найбільш ефективними заходами для розглянутої РЕМ виявились переведення мережі з напруги 10 кВ на напругу 20 кВ з використанням захищених проводів ($K_{ef}(x)=0,89$) та впровадження розподіленої генерації із одночасною зміною режиму роботи релейного захисту ($K_{ef}(x)=0,89$).

Список використаних джерел:

1. Закон України «Про ринок електричної енергії» від 13.04.2017 № 2019-VIII. - Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19>.
2. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП). Офіційний веб-сайт. – Режим доступу: <http://www.nerc.gov.ua/?id=11895>.

РОЗРОБКА ОПТИМАЛЬНИХ СХЕМНИХ РІШЕНЬ ОПОРНИХ ТЯГОВИХ ПІДСТАНЦІЙ

Дражко С.О., Косарєв Є.М.

*Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна, Україна, м. Дніпро*

Існуючі типові схемні рішення розподільчих пристроїв тягових підстанцій були розроблені з урахуванням надійності обладнання яке існувало в 70 – 80-х роках ХХ століття (масляні вимикачі, роз'єднувачі РНДз, розрядники та ін). В кінці 90-х років був освоєний випуск високонадійного електротехнічного обладнання, яке практично не потребує обслуговування. Це вакуумні (для середнього рівня напруги) і елегазові (для високого рівня напруги) вимикачі, конструктивно більш досконалі типи роз'єднувачів, сучасні обмежувачі перенапруг, що не мають обмежень по числу спрацьовувань, принципово нові пристрої для вимірювання струму і напруги.

Значний ривок в цьому напрямку було досягнуто розробкою інтегрально-го силового обладнання, тобто такого, що містить в одному корпусі декілька комутаційних і вимірювальних апаратів. Прикладом ІСО можуть служити елегазові комірки PASS виробництва АВВ (Італія).

Застосування такого обладнання в розподільчих пристроях дозволяє практично на порядок збільшити надійність роботи підстанцій. Однак вартість цих пристроїв досить велика. Тому установка перерахованих вище сучасних апаратів в існуючих схемах розподільчих пристроїв призведе до значного підвищення вартості підстанцій, що може стати перешкодою на шляху впровадження нової техніки.

Таким чином, впровадження високонадійного обладнання повинно супроводжуватись вдосконаленням існуючих схем розподільчих пристроїв.

Для опорних підстанцій запропоновано три (одна на окремо розташованому обладнанні і дві на ІСО) схеми РП живлячої напруги. Всі вони відрізняються від типової схеми тим, що в них відсутня обхідна система шин. Схеми є РП з одинарною, секціонованою вимикачем системою збірних шин. Відмова від обхідної шини дозволило зменшити число вимикачів на один, а роз'єднувачів – на $5 + 3 N$, де N – число введів підстанції. Одна зі схем на ІСО виконана на декількох найпростіших комірках, що містять один вимикач і один роз'єднувач, інша – на двох складних, що містять кілька вимикачів і роз'єднувачів.

Аналіз результатів розрахунку показників надійності для розподільних пристроїв живлячої напруги опорних підстанцій при електропостачанні проміжних підстанцій і споживачів показав, що:

1) заміна в типовій схемі застарілого обладнання сучасним призводить до збільшення надійності на 22,3% (заміна розрядників на ОПН – на 2,7%, заміна роз'єднувачів – на 0,7%, заміна вимикачів – 16,7%) при числі вводів рівному чотирьом;

2) у запропонованій схемі без обхідної системи шин, при її реалізації на сучасному окремому обладнанні, ймовірність відмови зменшується на 19% в порівнянні з типовою на застарілому обладнанні;

3) реалізація запропонованих схем на інтегральному силовому обладнанні дозволяє збільшити надійність від 3,6% до 26,7% в залежності від частки сучасного окремо розташованого обладнання.

Оцінка питомого параметра ефективності заміни обладнання показала, що найбільш ефективним способом модернізації є заміна розрядників на обмежувачі перенапруг, однак це дозволяє підвищити надійність не більше ніж на 3%. А найменш ефективним способом модернізації є заміна роз'єднувачів, так як їх число досить велике, що підвищує витрати, а надійність в більшості випадків мінімальна і не перевищує 6%. Заміна вимикачів дозволить значно підвищити показники надійності при високому показнику ефективності заміни обладнання.

Техніко-економічне порівняння показало, що при реалізації запропонованих схем на сучасному окремо розташованому обладнанні, в порівнянні з типовими схемами, наведені витрати зменшуються для опорних підстанцій на 25%. Реалізація запропонованих схем на інтегральному силовому обладнанні збільшить наведені витрати на 46%.

ВПЛИВ УДАРІВ БЛИСКАВКИ НА ПОВІТРЯНІ ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ

Дривецький С.І., Шевченко С.Ю.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Україна, м. Харків*

Розподільні електричні мережі напругою 0,4 - 35 кВ в останні роки оснащуються електричним обладнанням, апаратами, пристроями, ізоляторами та проводами, виготовленими на новій сучасній технічній основі.

Експлуатація таких мережевих споруд потребує надійної системи захисту від блискавкових перенапруг за допомогою сучасних технічних засобів. Розробка технічних засобів та методів захисту від перенапруг пов'язана з кількісною оцінкою параметрів блискавки та ймовірною кількістю пошкоджень від блискавки.

В даний час захищені дроти для повітряних ліній електропередавання набувають широкого поширення в Україні завдяки технічній політиці Міністерства палива та енергетики. Провід у захисній оболонці для повітряних ліній електропередач напругою 6 - 35 кВ був розроблений для підвищення надійності розподілу та передачі електроенергії. Використання проводів у захисній оболонці має ряд істотних переваг, а саме: надійність, економічна доцільність. Маючи явні переваги, є недолік, який визначається необхідністю захисту повітряних ліній від ударів блискавки.

Розраховуючи кількість пошкоджень ліній напругою 6 - 35 кВ, слід враховувати, що на цю лінію впливають не тільки прямі удари блискавки, але й небезпека ударів блискавки поблизу лінії, які супроводжуються виникненням перенапруги на проводі. Як показують експерименти багатьох авторів, ці перенапруги для ліній цього класу є досить імовірними і перевищують кількість прямих ударів у фазних проводах через їх малу висоту.

Повітряні лінії із захищеними проводами потребують захисту від прямих ударів блискавки, тому визначення кількості прямих ударів блискавки та розробка системи захисту є нагальним завданням.

Існуючі методи визначення прямих ударів блискавки в повітряні лінії потребують уточнення.

Розроблено критерії успішності грозозахисту повітряних ліній 6-35 кВ, у вигляді вірогідності виникнення струмів блискавки більших за ті, що наводять напруги вищі за електричну міцність ізоляції повітряної лінії.

Результати експериментальних досліджень дають змогу уточнити методи розрахунку грозо стійкості повітряних ліній електропередавання із ізольованими проводами.

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ГЕНЕРАТОРА НАНОСЕКУНДНИХ ІМПУЛЬСІВ

Дроздов А.М., Зайцев Р.В., Кіріченко М.В., Хрипунов Г.С.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Україна, м. Харків*

На теперішній час задача створення генераторів наносекундних імпульсів залишається вкрай вузькоспеціалізованою, однак досить актуальною. Основним напрямом використання таких генераторів є дослідження пов'язані зі створенням елементів і приладів захисту від електромагнітних імпульсів (ЕМІ) [1].

Найбільш поширеним варіантом генератора наносекундних імпульсів є генератор заснований на кабельній зарядовій лінії (рис. 1) [2]. Хвильові процеси в лініях з розподіленими параметрами описуються «телеграфними» рівняннями, що зв'язують напругу і струм в лінії. У містах з'єднання ліній з комутаторами, навантаженням і т.д., коли порушується однорідність ліній, можуть виникати відображення хвиль. Можна розрахувати напругу і струм в довільних точках будь-якого генератора, використовуючи поняття коефіцієнтів відображення і заломлення хвиль, а також закони Кірхгофа і правило Петерсена.

Основним елементом є кабельний генератор, який представляє собою формуючу лінію у вигляді коаксіального кабелю з опором 50 Ом. В якості комутатора використано ртутне гірконове реле, що дозволило отримати час наростання імпульсу напруги не більше 1 нс. У процесі розряду кабелю на узгоджене навантаження амплітуда імпульсу становить половину від зарядної напруги кабелю. Однак зазначений генератор є досить складним у налаштуванні та керуванні щодо дотримання оптимальних параметрів їх роботи.

Для його живлення, налаштування та керування створено відповідний електронний блок, котрий дозволяє:

- забезпечувати живлення зарядової лінії напругою в діапазоні від 40 до 400 В з кроком не більше 1 В;
- реалізовувати ручний запуск одиничного імпульсу для налаштування системи та попередніх досліджень;
- реалізовувати автоматичний керований режим роботи з послідовними імпульсами (період від 1 с, що є мінімально необхідним для заряду лінії, до годин);
- забезпечувати при необхідності обмін даними з комп'ютером;
- забезпечувати необхідну індикацію режимів роботи, зокрема режимів генерації високої напруги постійного струму.

Зазначений блок керування дозволяє спростити для користувача використання зарядової лінії для проведення високовольтних досліджень та забезпечити відповідну техніку безпеки.

Список використаних джерел:

1. Ghosh C.N. EMP weapons // Strategic Analysis, 2008 - Vol. 24. - No. 7. - P. 1333-1350.
2. Дьяконов В.П. Генерация и генераторы сигналов. - М. : ДМК Пресс, 2009. - 384 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПОЛІВ ШИНОПРОВОДІВ

Дьяков Є.Д., Сиромятнікова Т.В.

*Харківський національний університет міського господарства
ім. О.М. Бекетова, Україна, м. Харків*

Постановка задачі, аналіз останніх досягнень Постійне зростання електричних навантажень промислових підприємств, а також будівель і споруд розташованих в селитебній зоні змушує енергетиків шукати альтернативні рішення способів розподілу електричної енергії. Одним з можливих варіантів розв'язання проблеми є застосування шинопроводів для передачі і розподілу електроенергії. Це забезпечить ефективну побудову розподільних мереж, починаючи від трансформаторної підстанції і закінчуючи споживачами. Шинопроводи можуть використовуватися в різних будівлях - промислових, житлових, адміністративних, а також на об'єктах інфраструктури. При цьому шинопроводи дозволяють підвищити електробезпеку і зменшити вартість монтажних робіт в порівнянні з кабельними лініями.

Розробці та впровадженню шинопроводів приділяють велику увагу провідні енергетичні компанії як в нашій країні, так і за кордоном [1-3].

Мета досліджень. Провести дослідження розподілу напруженості електричного поля в шинопроводах. З цією метою використовувався програмний комплекс Elcut.

Основні матеріали досліджень. Дослідження проводились на шинопроводі, який має наступні геометричні розміри: висота корпусу 100мм, ширина –135 мм, висота струмоведучих шин – 50 мм, товщина шин – 5мм. Всі шини, включаючи нульову, мають ізоляцію, товщина якої 2 мм, відносна діелектрична проникність ізоляції –4. Відстань між ізольованими шинами – 5 мм.

Розподіл напруженості електричного поля для даної конструкції шинопровода наведено на рис. 1.

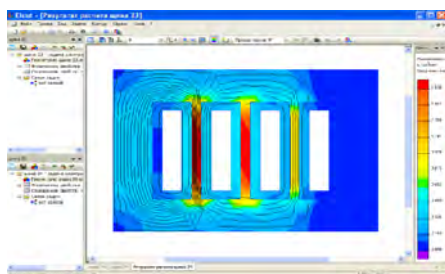


Рисунок 1 – Розподіл напруженості електричного поля в досліджуваній конструкції шинопровода

Як видно з рисунку, значення напруженості електричного поля по перерізу шинопроводу істотно різняться. У найбільш «важких» умовах знаходиться ізоляція середньої струмоведучої шини.

Висновки. В результаті проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Застосування програмного комплексу істотно розширює можливості дослідження електричних полів розподільних і магістральних шинопроводів різних конструкцій.

2. Отримані в результаті досліджень дані можуть бути використані при проектуванні раціональних конструкцій шинопроводів.

Список використаних джерел:

1. Шинопроводы и кабелесущие системы. – Режим доступу: <https://www.se.com/ru/ru/product-category/1300>
2. <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid>.
3. <http://www.enersys.in.ua>.

УДК 621.31

УДОСКОНАЛЕННЯ ОХОЛОДЖЕННЯ ТЯГОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ ЕЛЕМЕНТАМИ ПЕЛЬТЬЄ

Єгоркин В.Г., Полях О.М.

*Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна, Україна, м. Дніпро*

Надійність і безпека електропостачання електрорухомого складу багато в чому визначаються роботою тягових трансформаторів, що забезпечують узгодження комплексу з системою і перетворення ряду параметрів електроенергії в необхідні для подальшого її використання. Велика частина експлуатованих трансформаторів має термін експлуатації понад 30 років, при цьому граничний термін експлуатації трансформаторів складає 45 років. Високий ступінь зносу трансформаторів створює потенційну небезпеку як для споживачів, так і для обслуговуючого персоналу. Причому тенденція старіння парку трансформаторів є характерною не тільки для України а і більшості розвинених країн.

Експлуатація трансформаторів після 30 років пов'язана з підвищеними ризиками відмов, в обладнанні розвитку дефектів. При тому, заміна обладнання в короткий відрізок часу технічно неможлива і дорога. Експлуатація трансформаторів в жаркий період пори року нерідко супроводжується випадками їх перегріву, порушеннями системи охолодження. Відвести нагріте повітря від обмоток і охолодити обмотки стає проблематично. У цих умовах удосконалення системи охолодження тягових трансформаторів є актуальною.

Метою роботи є удосконалення охолодження тягових трансформаторів елементами Пельтьє.

Для досягнення цієї мети потрібно вирішити такі питання, як:

1. Аналіз системи охолодження тягових трансформаторів;
2. Вибір напрямку вдосконалення системи охолодження тягового трансформатора та створення моделі охолодження;
3. Дослідження пропонованої системи охолодження тягового трансформатора.

В роботі проведено аналіз системи охолодження тягових трансформаторів. Основним недоліком в роботі систем охолодження є низька інтенсивність теплопередачі в літній період пори року, коли середня температура навколишнього повітря знаходиться в межах 25-32 °С, а температура обладнання збільшується до 50-70 °С. Одним з методів збільшення коефіцієнта тепловіддачі стало застосування масло-водних охолоджувачів, які дозволяють зменшити габаритні розміри охолоджувачів і збільшити тепловий знімання до 1000 кВт і більше. Недоліком такого охолодження є застосування великої кількості води.

Зроблено вибір напрямку вдосконалення системи охолодження тягового трансформатора це збільшення теплового потоку шляхом створення більш високої різниці температур між охолоджувальною поверхнею і навколишнім повітрям. Створена модель охолодження.

Досліджено ряд пропонованих систем охолодження тягового трансформатора. Одним із варіантів вирішення поставленого завдання служить монтаж на поверхні охолоджуючих ребер силового трансформатора каскаду елементів Пельтьє. Вони дозволяють створити значний перепад температур в декілька десятків градусів. При відповідному примусовому охолодженні нагрівачого радіатора другий радіатор – холодильник, дозволяє досягти температур нижче 0 °С. Така система, послідовного з'єднаних елементів Пельтьє дозволяє отримати істотний температурний перепад і, відповідно забезпечити ефективне охолодження поверхні.

Висновок по роботі. Удосконалене охолодження тягових трансформаторів елементами Пельтьє показало, що застосування термоелектричних модулів надало підвищення ефективності тепловіддачі, дозволило скоротити час охолодження, в зимовий період часу, можливе застосування як додаткового джерела електроенергії, можливість їх монтажу без проведення реконструкції самого електрообладнання; збільшенні потужності; висока надійності.

Для удосконаленого методу діагностування запропоновано новий діагностичний параметр на основі трьох діагностичних параметрів. Запропоновано використання коефіцієнта на прийняття рішення стану опори контактної мережі.

Проведено експериментальне дослідження. Результати експериментальних вимірювань і теоретичних розрахунків відрізняються на 4%.

Висновок. На основі проведених експериментальних та теоретичних досліджень вирішена актуальна науково-технічна мета, удосконалення обстеження опор контактної мережі в умовах «Одеської залізниці».

Удосконалений метод діагностування дозволяє збільшити кількість діагностування опор в умовах Одеської залізниці.

**ІМІТАЦІЯ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОТЯГОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ
ПРИ ПАКЕТНОМУ РУСІ ШВИДКІСНИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПОЇЗДІВ З
ВРАХУВАННЯМ ВИПАДКОВОГО ХАРАКТЕРУ НАПРУГИ****Єсипенко О.В.***Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна, Україна, м. Дніпро*

На даний момент одним із завдань розвитку залізничного транспорту в Україні є впровадження швидкісного руху пасажирських поїздів. При цьому швидкість поїздів підвищується зі звичайних нам 50...160 км/год. до 160...200 км/год, що надає можливість виконувати більші обсяги перевезень не тільки пасажирів, але і вантажів. Оскільки побудова нових залізничних шляхів для швидкісних поїздів є заходом довгим та дорогим, тому швидкісний рух передбачається здійснювати на реконструйованих залізничних шляхах. Для цього, планується суміщати рух «звичайних» пасажирських поїздів зі швидкісними. Наслідком ведення сумісного швидкісного пакетного руху є вплив на деякі критерії розрахунку системи тягового електропостачання, такі як: потужність тягової мережі, рівень напруги на струмоприймачі, струми електровозів та ін. За допомогою одного з методів моделювання визначимо ці показники.

На сьогодні найбільш поширеними методами моделювання електротягового навантаження є імітаційне та математичне. Зазначене вище дозволяє стверджувати, що практично неможливо побудувати точну математичну модель такої складної нелінійної динамічної потужної системи як системи електричної тяги (СЕТ) тільки, як це зараз здійснюється, на основі теоретичного аналізу фізичних процесів, що протікають в пристроях чи підсистемах цієї системи з наступним використанням законів і методів теоретичної електротехніки. Якраз зазначене практично і гальмує математичне моделювання, а отже і прогнозування, процесів в перспективних СЕТ, особливо тих, що модернізуються для впровадження швидкісного і високошвидкісного руху поїздів. На нашу думку, розв'язання цієї проблеми можливо створенням імітаційних моделей всієї СЕТ, в якій модель електрорухомого складу формують методами ідентифікації. Такий підхід цілком раціональний, оскільки математичне моделювання було більш застосованим в ті роки, коли не було потужної обчислювальної техніки і потрібного програмного забезпечення. Сучасний розвиток комп'ютерних технологій і досконалого многу забезпечення обумовлюють більш доцільним застосування імітаційного моделювання. Тому в даній роботі використано один із цих методів, а саме – метод імітаційного моделювання.

Оскільки світовий досвід показує, що на ділянках з швидкісними поїздами застосовується система електричної тяги змінного струму 27,5 кВ, 50 Гц, то в цій роботі здійснено імітаційне моделювання процесів в таких ділянках при

швидкості руху поїздів 200 км/год. При цьому в якості моделі тягової підстанції прийнято реальне джерело синусоїдної е.р.с. з внутрішнім опором 0,176 Ом та індуктивністю 0,00177 Гн. В якості моделі електровоза ЕД 4 прийняли ідентифіковану модель з активним опором 133,05 Ом та індуктивністю 0,077 Гн. При моделюванні визначали: напругу на струмоприймачі електровозу, його струм, а також фідерний струм і втрати потужності в тяговій мережі.

За результатами моделювання зокрема встановлено, що вимоги ПТЕ електрифікованих залізниць України щодо допустимого значення рівня напруги на струмоприймачі електровозу при заданих умовах імітаційного моделювання виконуються:

1) Максимальне значення склало 27,46 кВ, а мінімальне – 26,43 кВ, при нормативах відповідно 29,0 кВ і 24,0 кВ при швидкості руху 200 км/год.

2) Фідерний струм при пакетному русі швидкісних пасажирських поїздів має імпульсний характер з максимумом 340 А при 4 поїздах в пакеті. Найбільший вплив на фідерний струм мають міжпідстанційна відстань та інтервал часу попутного прямування.

3) Збільшення кількості поїздів в пакеті (на 1 поїзд) призводить до збільшення втрат потужності в тяговій мережі в 1,8 рази.

УДК 656.2

ЕНЕРГООПТИМАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕВІЗНОГО ПРОЦЕСУ

Єфремова К.Р.

*Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна, Україна, м. Дніпро*

Зараз транспортна галузь є однією з найбільш найважливіших - без неї не може обійтися жодна ланка в економічних процесах. Залізниця завжди була і залишається провідним перевізником, який забезпечує потреби народно-господарського комплексу того регіону, який вона обслуговує.

Основним показником результативності енергозбереження, відповідно до чинного законодавства, є зниження питомих витрат ПЕР на одиницю роботи. Для залізничного транспорту продукцією є перевізний процес вантажів і пасажирів, тобто в питомому вирахуванні - робота, здійснена транспортом по доставці однієї тони вантажу і одного пасажирів на відстань один кілометр. Встановлено два основних цільових показника енергозбереження, а саме: зниження енергоємності виробничої діяльності та підвищення енергоефективності виробничої діяльності. На жаль енергоємність валового внутрішнього продукту, що представляє собою відношення витраченої в країні енергії.

В даний час ставиться завдання визначення основних технічних засобів і технологій у всіх сферах діяльності залізниць технічно досяжних і економічно виправданих граничних показників, що впливають на енергоспоживання (реальний потенціал енергозбереження).

До таких показників відносяться: для організації перевізного процесу - комплекс показників експлуатаційної роботи, істотно впливають на енергоспоживання (обсяг перевезень, середня маса поїзда, технічна та дільничні швидкості, маршрутизація вантажопотоків, частка порожнього пробігу вагонів і локомотивів, гарячий простий локомотивів, затримки поїздів у забороняють сигналів світлофора, не заплановані зупинки, час до гону поїздів).

Важливою проблемою, яка виникає при необхідності освоєння зростаючих обсягів перевезень, є своєчасний розвиток залізничної інфраструктури. Необхідність великих обсягів тривало окупних капітальних вкладень ставить на меті кількісне обґрунтування достатності запропонованих технічних і технологічних рішень при мінімально можливих витратах. Проблема вирішується на основі визначення потрібної пропускної здатності і порівняння її з готівковою при різних варіантах реконструкції інфраструктури та організації перевезень. Пропускна здатність залізничних ділянок за діючими методиками визначається в однакових по масі і довжині розрахункових вантажних поїздах по обмежуючим перегонам. Це виключає можливість визначити пропускну і провізну спроможності залізничної лінії в умовах звернення вантажних поїздів, маса яких коливається.

Проведений аналітичний огляд літератури показав, що вибір оптимальних маршрутів пропуску поїздів являє собою складну багатокритеріальну задачу, яка на даний момент не отримала кінцевого рішення. Зараз ця задача вирішується диспетчерським персоналом залізниць на основі власного досвіду, як правило, без системного науково-обґрунтованого аналізу. На даний момент не існує чіткого алгоритму, яким можна користуватися при виборі оптимальних маршрутів. Техніко-експлуатаційні показники функціонування залізничної мережі (залізничного вузла тощо) залежать не тільки від конфігурації мережі, але і від способу організації руху поїздів. Існуюча технологія вибору оптимальних маршрутів пропуску поїздів на мережі та у залізничному вузлі не враховує зміну експлуатаційних витрат при різкій зміні величини поїздопотоку. Удосконалення пропуску поїздопотоків у залізничному вузлі, є досить актуальною темою для залізничного транспорту України.

Відповідно до основних напрямків розвитку залізничного транспорту для забезпечення росту галузі, її стабільного та ефективного функціонування передбачено підвищення пропускної спроможності залізничних ліній і збільшення маси поїздів та їх швидкостей: вантажних до 100 – 120 км/год, пасажирських до 160 – 200 км/год. Для підвищення пропускної спроможності дільниць, впровадження великовагового руху поїздів потрібні локомотиви з більш високою одиничною потужністю, яку може забезпечити лише електротяга.

УДОСКОНАЛЕННЯ ФІЛЬТРО-КОМПЕНСУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИСТЕМІ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗМІННОГО СТРУМУ

Жаботинський А.О., Косарєв Є.М.

*Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна, Україна, м. Дніпро*

Зниження споживання реактивної потужності є одним з найбільш ефективних напрямків підвищення енергоефективності тягового електропостачання. Для компенсації реактивної потужності і для підвищення якості електроенергії в системах тягового електропостачання (СТЕ) застосовують фільтро-компенсуючі пристрої (ФКП).

В зв'язку з численними впливаючими факторами на практиці процентний вміст гармонійних складових струму електровоза відрізняється від теоретичних значень, і для розрахунку параметрів фільтро-компенсуючих пристроїв необхідно проводити спеціальні виміри для визначення гармонічного складу струму і напруги в місці підключення ФКП. Гармоніки створюють додаткові втрати потужності, але особливо негативний вплив вони надають в режимах резонансу ємності і індуктивності тягової мережі.

Тому розробка нових схемотехнічних рішень ФКП, які забезпечують підвищення рівня напруги, пропускної здатності, а також зниження рівня гармонійних складових порядку $n \geq 2$ і зниження втрат потужності в тяговій мережі, а також дозволяють організувати автоматичне регулювання потужності ФКП, є актуальним завданням.

Основною метою роботи є вдосконалення схемотехнік і алгоритмів управління ФКП для підвищення енергетичної ефективності СТЕ за допомогою стабілізації рівня напруги в тяговій мережі, підвищення пропускної спроможності ділянок залізниці, зменшення втрат потужності і зниження значень гармонійних складових струму і напруги в тяговій мережі. Об'єктом досліджень є фільтро-компенсуючі пристрої з регулюванням генеруючої потужності, а саме ФКП з паралельним і послідовним з'єднанням секцій.

У загальному випадку передбачається підключення декількох ФКУ в тяговій мережі (зокрема, на посту секціонування (ПС)) і на шинах 27,5 кВ тягових підстанцій, як це прийнято на діючих ділянках електропостачання.

Для вдосконалення працездатності і якості функціонування фільтро-компенсуючих установок пропонується новий комплекс технічних рішень, що включає:

- нові установки з послідовним з'єднанням секцій резонансних фільтрів, що відрізняються оригінальними схемами надійного перемикання потужності ФКУ для реалізації роботи в режимах максимальних і середніх тягових навантажень;
- установки з паралельним підключенням секцій резонансних фільтрів із заданими (в загальному випадку різними) резонансними частотами, відмінними спеціальною схемою підключення додаткового широкосмугового фільтру.

ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНИЧНО ДОПУСТИМИХ ЗНАЧЕНЬ ПОКАЗНИКІВ ІЗОЛЯЦІЇ ВИСОКОВОЛЬТНИХ МАСЛОНАПОВНЕНИХ ВВОДІВ МЕТОДОМ МІНІМАЛЬНОГО РИЗИКУ

Загайнова О.А., Шутенко О.В.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Україна, м. Харків*

Згідно з чинним в Україні нормативним документом [1] рішення про стан вводів приймається на підставі результатів порівняння значень показників ізоляції, отриманих за результатами випробувань з гранично допустимими значеннями (ГДЗ). При цьому значення показників нормуються тільки по класу напруги, типу ізоляції і сорту масла. У той же час такі фактори, як тривалість експлуатації, значення робочих струмів не враховуються, а виконані в роботі [2] дослідження показали істотний вплив даних факторів на значення показників ізоляції вводів. Крім того, в даний час відсутній метод, що дозволяє енергетичним компаніям самостійно визначати ГДЗ показників з урахуванням даних факторів.

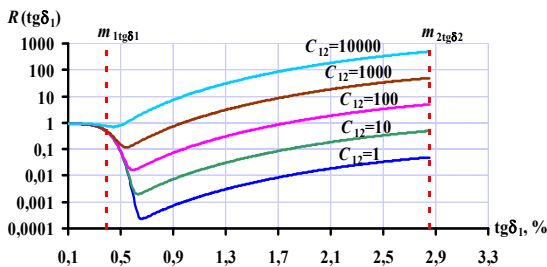
Для визначення ГДЗ показників ізоляції високовольтних вводів запропоновано використовувати метод мінімального ризику. З огляду на те, що значення показників ізоляції як справних, так і дефектних вводів можуть бути описані розподілом Вейбулла [3] функція середнього ризику, наприклад, для тангенса кута діелектричних втрат основної ізоляції вводів (tg_1) може бути представлена у вигляді:

$$R = C_{21} P_1 \int_{\text{tg}\delta_{\text{rp}}}^{\infty} \frac{\beta_1}{\alpha_1^{\beta_1}} \cdot \text{tg}\delta^{\beta_1-1} \cdot e^{-\left(\frac{\text{tg}\delta}{\alpha_1}\right)^{\beta_1}} d\text{tg}\delta + C_{12} P_2 \int_{-\infty}^{\text{tg}\delta_{\text{rp}}} \frac{\beta_2}{\alpha_2^{\beta_2}} \cdot \text{tg}\delta^{\beta_2-1} \cdot e^{-\left(\frac{\text{tg}\delta}{\alpha_2}\right)^{\beta_2}} d\text{tg}\delta, \quad (1)$$

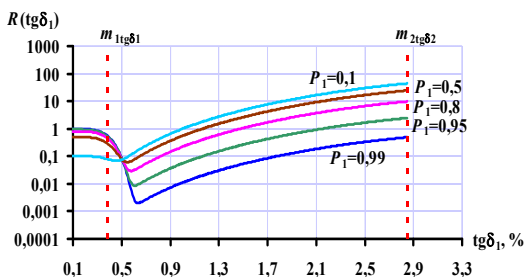
де α_1, β_1 – значення параметрів масштабу і форми для розподілу значень $\text{tg}\delta$ в справних вводах; α_2, β_2 – значення параметрів масштабу і форми для розподілу значень $\text{tg}\delta$ в дефектних вводах, $\text{tg}\delta_{\text{rp}}$ – ГДЗ $\text{tg}\delta$, що підлягає визначенню.

Механізм мінімізації функції середнього ризику (1) відображений на рис. 1, на якому наведені залежності ризику від значення tg_1 при різних значеннях умовних вартостей помилкових рішень (рис. 1 а) і різних значеннях ймовірності справного стану (рис. 1 б). Як видно з рис. 1, зі збільшенням умовної вартості «пропуску дефекту» і з ростом ймовірності появи дефекту мінімум функції середнього ризику зміщується в бік вибіркового середнього для справного стану. Значення ризику можуть змінюватися на кілька порядків при одних і тих же значеннях параметрів закону розподілу, в залежності від значень умовних вартостей помилкових рішень, ймовірностей справного і дефектного станів вводу. Виконаний в [4] аналіз ризиків, які супроводжуються використанням ГДЗ показників, регламентованих в [1] і ГДЗ показників, які отримані різними

методами, показав, що мінімальне значення можливого економічного збитку забезпечують ГДЗ показників, які отримані методом мінімального ризику з урахуванням умов експлуатації вводів.



а)



б)

Рисунок 1 – Залежності значень середнього ризику від значень $\text{tg}\delta_1$:

а – при різних значеннях вартості «пропуску дефекту»;

б – при різних значеннях ймовірностей справного стану;

Список використаних джерел:

1. Норми випробування електрообладнання : СОУ-Н ЕЕ 20.302:2007 – Офіц. вид., приказ Мінпаливенерго 2007-01-15 г. №13. К. : ОЕП «ГРИФРЕ» : Мінпаливенерго палива та енергетики України, 2007. – 262 с.
2. О.В. Шутенко, А.А. Загайнова, Г.Н. Сердюкова «Анализ влияния условий и режимов эксплуатации на техническое состояние основной изоляции высоковольтных вводов различной конструкции» // Електротехніка і Електромеханіка. – Харків: НТУ «ХПИ». – 2019. – №1. – С. 33–42. DOI: <https://doi.org/10.20998/2074-272X.2019.1.10>.
3. Shutenko Oleg, Zagaynova Alexandra, Serdyukova Galina «Analysis of distribution laws of insulation indicators of high-voltage oil-filled bushings of hermetic and non-hermetic execution» // Technology audit and production reserves. – 2018. – Vol. 4. – №. 1 (42). – pp 30–39; DOI: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2018.140873>.
4. O. Shutenko, A. Zagaynova, G. Serdyukova «Determining the Maximally Permissible Values for the Indicators of Insulation of Sealed Entrance Bushings with a Voltage of 110 kV Using the Method of Minimal Risk» // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies– 2018. – Vol. 5. – №. 8 (95). – pp 6–15. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.142185>.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОЇ РОБОТИ ТЯГОВОЇ МЕРЕЖІ ПРИ ПАРАЛЕЛЬНІЙ РОБОТІ З АЛЬТЕРНАТИВНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ СТРУМУ

Івахненко М.Р.

*Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна, Україна, м. Дніпро*

Основні вимоги до систем тягового електропостачання (СТЕ) зводяться до такого: забезпечувати надійне струмознімання, підтримувати задану якість електричної енергії та забезпечення надійної роботи при живленні електрорухомого складу.

Під надійністю електропостачання ми маємо на увазі безперервне забезпечення споживачів електроенергією заданої якості відповідно до договірних зобов'язань. У сучасних умовах надійність електропостачання насамперед пов'язана з економічними показниками й енергетичною безпекою промислових підприємств. Окрім того, надійність електропостачання є товаром, що має свою ціну й реалізується через ринкові послуги.

Завдання забезпечення надійності систем електропостачання містить у собі цілий комплекс технічних, економічних і організаційних заходів, спрямованих на пониження збитку від порушення нормального режиму роботи споживачів електроенергії, а саме: вибір критеріїв і кількісних характеристик надійності; випробування на надійність і прогнозування надійності діючого устаткування; вибір оптимальної структури проєктованих (реконструйованих) систем електропостачання за критерієм надійності; забезпечення заданих технічних і експлуатаційних характеристик роботи споживачів; розроблення найбільш раціональної, з погляду забезпечення надійності, програми експлуатації системи (обґрунтування режимів профілактичних робіт, норм запасних елементів і методів пошуку несправностей).

В даний час альтернативні джерела електроенергії стрімко розвиваються, збільшується кількість постачальників і змінюються умови надання послуг з електропостачання. При цьому розвиток альтернативних джерел енергії, як нового перспективного напрямку економіки, потребує державного регулювання та управління; в початковий період свого розвитку - фінансової підтримки і зменшення податкових ставок. Україна за останні кілька років домоглася значного прогресу в розвитку джерел альтернативної електричної енергії, зокрема, сонячних (СЕС) і вітрових (ВЕС) електростанцій. Одним з рушійних чинників стало створення "Зеленого тарифу" на генерується альтернативними джерелами електроенергію.

Аналіз можливостей використання альтернативної енергетики в системах тягового електропостачання показує кілька можливих напрямків:

- живлення системи тягового електропостачання від зовнішньої енергетичної системи, в якій, поряд з традиційними, функціонують в паралельному режимі і альтернативні джерела електричної енергії,
- використання альтернативної енергії для посилення тягової мережі, харчування об'єктів інфраструктури і споживачів власних потреб (на пряму).

МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМУ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ В ЕЛЕКТРОТЯГОВІЙ МЕРЕЖІ СИСТЕМИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Іващенко О.І., Міщенко Т.М.

*Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна, Україна, м. Дніпро*

В сучасних реальних умовах експлуатації системи електричної тяги (СЕТ) постійного струму виникає велика кількість аварійних режимів, про що свідчать 200...350 вимикань захисних апаратів тягових підстанцій (ТП) за рік на головних коліях і 300...400 на привокзальних лініях. При цьому найбільш енергетично небезпечним і найбільш частим аварійним режимом є режим короткого замикання. В Україні ця проблема майже не досліджена, а в публікаціях з вивчення цієї задачі застосовано лише класичне моделювання, яке не дозволяє (внаслідок громіздкості моделей) враховувати ряд реально діючих в СЕТ факторів.

Виконано імітаційне моделювання режиму короткого замикання в тяговій мережі (ТМ) з консольним і двостороннім живленням при - і без наявності електрорухомого складу (ЕРС). За результатами моделювання, зокрема, встановлено, що з точки зору імовірності перепалу контактного проводу при наявності відкритої електричної дуги найбільш небезпечним є режим короткого замикання, яке, по-перше, є ближнім до ТП, а, по-друге, виникає на ділянці з двостороннім живленням. В цьому випадку амплітуда струму короткого замикання досягає 6 кА, в той час як при консольному живленні вона удвічі менше і не перевищує 3 кА.

Також встановлено, що найдовше вимикається швидкодіючий вимикач, який розташований надалі від місця короткого замикання, термін його вимикання досягає 70 мс (при допустимому значенні 80 мс згідно ГОСТ 2585-81). Крім того, у разі виникнення далекого короткого замикання і неогрунтовано завищеними уставками швидкодіючого вимикача аварійний режим може тривати нескінченно довго.

Окрім зазначеного, в режимах короткого замикання ТМ спостерігається різко коливальний характер зміни підстанційних напруг тривалістю 0,04...0,05 с з максимальним його значенням 9100 В при вузловій схемі живлення. В період існування аварійного режиму в ТМ мають місце гармонійні складові перехідних електричних величин, частоти яких коливаються в межах 15...2000 Гц. Амплітудні значення основної (15...50 Гц) і вищих гармоній перехідних струмів змінюються в широких межах і можуть негативно впливати як на кодові, так і на тональні рейкові кола; при цьому амплітуда основної гармоніки струму досягає 67,6 А.

З оцінки кількості електрики, що проходить через точку короткого замикання впливає, що контактний провід при двосторонньому живленні ТМ в точці короткого замикання нагрівається в 3,26 рази сильніше у порівнянні з одностороннім живленням. При цьому імовірність перепалу контактного проводу збільшується в 1,94 рази. Крім того, при двосторонньому живленні ТМ величина кількості електрики у точці короткого замикання наближається до критичного значення, оскільки у контактного проводу МФ-100 при 250 Ас і більше з'являються значні кратери і невеликі шийки. Останнє обумовлене тим, що струм 6,0 кА, який протікає в точці короткого замикання, є сумою струмів живлячих прилеглих тягових підстанцій.

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ТА ОЦІНКА ВПЛИВУ ДЖЕРЕЛ ВИКРИВЛЕННЯ НАПРУГИ В ТОЧЦІ ЗАГАЛЬНОГО ПРИЄДНАННЯ НА БАЗІ SMART GRID

Калюжний Д.М.¹, Сасенко Ю.Л.², Свєргуненко С.В.¹

¹ Харківський національний університет міського господарства
ім. О. М. Бекетова, Україна, м. Харків

² Державний вищий навчальний заклад «Приазовський державний технічний
університет», Україна, м. Маріуполь

Задача ідентифікації та оцінки впливу джерел викривлення напруги в точці загального приєднання, яка пов'язана з питанням розподілу економічних збитків за використання електричної енергії зниженої якості, є актуальною.

Вирішення задачі ідентифікації та оцінки впливу джерел викривлення напруги в точці загального приєднання можливо за двома напрямками. Перший з них базується на локальному підході, який передбачає вирішення даної задачі за вимірами параметрів режиму роботи мережі тільки в одній точці. Суттєвою перевагою цього підходу є простота технічної реалізації, яка полягає у використанні одного вимірювального пристрою. Недоліками цього підходу є обмеження за видами приєднань (тільки пасивне навантаження) та наявність методичної похибки вирішення даної задачі.

Відсутність методичної похибки та вирішення задачі ідентифікації та оцінки впливу джерел викривлення напруги в точці загального приєднання, у тому числі, для активних приєднань (приєднань з джерелами генерації) характерна для другого підходу, який передбачає використання розсереджених даних про параметри режиму роботи мережі та її конфігурацію. Не зважаючи на ці переваги даного підходу потребує проведення синхронізованих вимірів з точністю близько 10^{-9} с. Досягнення таких вимог можливо тільки завдяки використанню технологій та підходів системи Smart Grid з системою синхронізації часу атомними годинниками.

На сьогоднішній день досягнення технічних вимог щодо вирішення задачі ідентифікації та оцінки впливу джерел викривлення напруги в точці загального приєднання можливо завдяки використанню розсередженої системи векторних вимірювань (WAMS система з PMU) синхронізованою за глобальною системою позиціонування (наприклад GPS) в сполученні з системою диспетчерського управління та збору даних (SCADA-система), які обидві є складовими технології Smart Grid.

ПОХИБКА ІДЕНТИФІКАЦІЇ ДЖЕРЕЛ СПОТВОРЕННЯ СИМЕТРІЇ НАПРУГ В ТРИФАЗНІЙ ЧОТИРЬОХПРОВІДНІЙ МЕРЕЖІ

Калюжний Д.М.¹, Сасенко Ю.Л.², Свергуненко С.В.¹

¹ Харківський національний університет міського господарства
ім. О. М. Бекетова, Україна, м. Харків

² Державний вищий навчальний заклад «Приазовський державний технічний
університет», Україна, м. Маріуполь

Ідентифікація джерел спотворення напруг в точці загального приєднання (ТЗП) є актуальним питанням, яке відноситься до проблеми електромагнітної сумісності.

В рамках локальних вимірів параметрів режиму роботи мережі ідентифікація джерел спотворення напруг характеризується методичною похибкою. Основна її причина полягає у приблизному характері визначення параметрів еквівалентних схем заміщення споживачів електричної енергії (СЕ).

Проведені дослідження з цього питання дозволили визначити значення цієї похибки. Так для трифазної чотирьохпровідної мережі похибка ідентифікації джерел спотворення симетрії напруги за зворотною та нульовою послідовностям складають:

$$\delta I_{(2)}^{\Sigma_{\text{СЕсповт}}} = -\Delta \varphi \cdot \left[\underline{Y}_1^{\Delta_{\text{СЕсповт}}} \cdot \left(\underline{K}_{2U}^* + \left(\underline{K}_{0U}^* \right)^2 \right) + \underline{Y}_2^{\Delta_{\text{СЕсповт}}} \cdot \underline{K}_{0U}^* \cdot \underline{K}_{2U}^* \right]; \quad (1)$$

$$\delta I_{(0)}^{\Sigma_{\text{СЕсповт}}} = \Delta \varphi \cdot \left[\underline{Y}_{\phi}^{\Delta_{\text{СЕсповт}}} - \underline{Y}_1^{\Delta_{\text{СЕсповт}}} \cdot \left(\underline{K}_{0U}^* + \left(\underline{K}_{2U}^* \right)^2 \right) \right], \quad (2)$$

де $\Delta \varphi$ – різниця потенціалів між точками М та N (рис. 1); $\underline{Y}_{\phi}^{\Delta_{\text{СЕсим}}}$ – симетрична складова відповідних фазних провідностей; $\underline{Y}_1^{\Delta_{\text{СЕсповт}}}$ та $\underline{Y}_2^{\Delta_{\text{СЕсповт}}}$ – симетричні складові відповідних фазних провідностей схеми заміщення СЕ; \underline{K}_{2U}^* та \underline{K}_{0U}^* – комплексні коефіцієнти несиметрії напруги у відносних одиницях за зворотною та нульовою послідовностями.

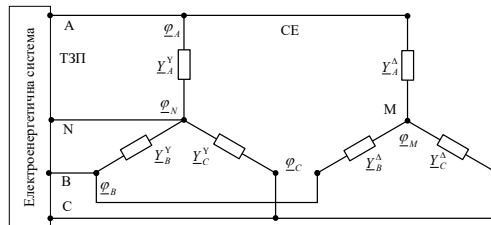


Рисунок 1 – Еквівалентна схема заміщення СЕ

**ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ В
ЕЛЕКТРИФІКОВАНІЙ ДІЛЯНЦІ СИСТЕМИ ЗМІННОГО СТРУМУ З
ВРАХУВАННЯМ ВИПАДКОВОГО ХАРАКТЕРУ НАПРУГИ****Кондратюк Є.В., Міщенко Т.М.***Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна, Україна, м. Дніпро*

Як відомо, проведення експериментальних досліджень на діючих електрифікованих ділянках змінного струму є досить складним і тому вивчення електромагнітних процесів виконується методами імітаційного чи класичного математичного моделювання. Однак, як правило, це здійснюється при умові що на шинах підстанцій підтримується детермінована номінальна напруга 27,5 кВ (50 Гц). В той же час в ряді публікацій приведено, що напруги на шинах різних тягових підстанціях (ТП) у стаціонарному режимі роботи системи електричної тяги (СЕТ) являє собою випадковий (стохастичний) процес, який підкоряється нормальному закону з математичним очікуванням 27,43 кВ і дисперсією 0,234 кВ². Цілком істотно, що у цьому випадку виникають не прості задачі як побудови моделей ТП і електрорухомого складу (ЕРС), так і розробки методів.

Враховуюче зазначене, ці тези ще не містять результатів чисельних розрахунків електромагнітних процесів, тобто вони є, свого роду, лише поки що «постановочними» стосовно побудови можливих моделей нелінійних динамічних елементів досліджуваної СЕТ.

Насамперед зазначимо, що класичні математичні моделі елементів СЕТ змінного струму практично не можуть бути застосовні, оскільки вони потребують знання їх схем заміщення, які є на сьогодні дуже складними. Це дозволяє стверджувати, що практично неможливо побудувати точну математичну модель такої нелінійної динамічної потужної системи як СЕТ тільки, як це зараз здійснюється, на основі теоретичного аналізу фізичних процесів, що протікають в пристроях чи підсистемах цієї системи з наступним використанням законів і методів теоретичної електротехніки. Якраз зазначене практично і гальмує класичне математичне моделювання, а отже і прогнозування, процесів в перспективних СЕТ, особливо тих, що модернізуються для впровадження швидкісного і високошвидкісного рухів поїздів. На нашу думку, розв'язання цієї проблеми можливо методами ідентифікації, тобто створення динамічних ідентифікаційних моделей. Як відомо, в класичному понятті під ідентифікацією розуміється задача визначення структури і (або лише) параметрів даного досліджуваного пристрою чи

системи за відомими в ньому вхідній і вихідній функціями, що отримані апіорно чи синхронним записом в умовах їх нормального функціонування.

В науковій літературі викладаються методи побудови ідентифікаційних моделей, це, насамперед, методи: вагової функції; миттєвих потужностей; часових рядів; кореляційних функцій. Наприклад що динамічною ідентифікаційною моделлю електровозу змінного струму ДС 3 є, або функція провідності $g(t)=4,19\exp(-1148t)$ См, або ділянка з послідовним з'єднанням резистивного ($R=133,05$ Ом) та індуктивного ($L=0,077$ Гн) елементів.

Оскільки вхідна величина СЕТ, тобто напруга на шинах ТП, являється випадковим процесом, то задача розрахунку електромагнітних процесів полягає в оцінці імовірнісних характеристик фідерних струмів і струмозподілу між поїздами і тяговою мережею, тобто визначення функцій їх математичних очікувань, дисперсії та кореляційних функцій. Для розв'язання таких задач у теперішній час в математиці поки що не існує точних аналітичних методів, необхідно застосовувати або наближені методи, або моделювання. Із наближених аналітичних методів доцільно використовувати такі методи: «звичайної» або простої лінеаризації; стохастичної лінеаризації; метод Монте-Карло; еквівалентних збурень; марковських процесів; квазістатичний метод; методи функціональних рядів.

УДК 621.31

ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРИЧНИХ ВЕЛИЧИН СИСТЕМИ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Косарєв Є.М., Пауков Д.М.

*Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна, Україна, м. Дніпро*

Тягове навантаження досить специфічне, воно має ряд особливостей, які ускладнюють розрахунок. Особливістю роботи тягових систем енергопостачання є, як відомо, безперервна зміна тягових навантажень як по величині, так і місцем їх розташування. Тяговими навантаженнями є струми, споживані електровозами. Зміна тягових навантажень залежить від режиму роботи електровоза, характеристик двигунів, ваги поїзда, профілю колії, графіка руху. Сумарна величина тягових навантажень визначається навантаженнями окремих поїздів, кількістю і розташуванням поїздів, які одночасно перебувають на ділянці. Зміна режиму роботи і місця розташування електровоза одного поїзда впливає на ре-

жим роботи електровозів інших поїздів, що знаходяться на лінії в зоні живлення суміжних підстанцій, і впливає на величини напруг в контактній мережі.

Для електровозів, що мають великі значення потужностей годинного режиму, характерно, що такі потужності електровози споживають лише на керуючих підйомах, складаючи лише невелику частину від загальної протяжності колії. На інших ділянках навантаження знижується, а на ухилах або падає до нуля, або енергіє рекуперується в мережу. В перші моменти при русі поїзда навантаження за рахунок пуску двигунів може перевищувати потужність годинного режиму на 15-30%.

Режим навантаження приміських мотор-вагонних потягів значно відрізняється від режиму електроспоживання потягів дальнього слідування. В період розгону ці потяги мають навантаження, що в два-три рази більше, ніж при наступному русі. Часті зупинки приміських потягів призводять до того, що більшу частину шляху вони проходять в режимі вибігу, тобто без споживання електроенергії. Розрахунок електричних величин системи тягового електропостачання повинен проводитись особливими методиками, які враховують специфіку тягового навантаження. У всіх існуючих методах розрахунку електричних величин присутні припущення, які призводять до появи похибок. Найбільші похибки з'являються при розрахунках середніх значень навіть в тому випадку, коли використовуються автоматизовані програми.

Особливо великі розбіжності виходять у випадках визначення розрахункових значень електричних величин для реальних умов експлуатації через розбіжності дослідних і розрахованих струмів поїздів, графіків руху, параметрів тягових мереж. Виконано аналіз факторів, що впливають на похибки параметрів електричних величин електротяги мереж. Показано, що для однотипних поїздів швидкість руху є головним фактором, що визначає значення струмів електровозів.

Запропоновано для розрахунку усередненого струму поїзда використовувати функцію математичного очікування швидкості. З метою мінімізації дисперсії розрахункових значень струмів і потужностей потрібно проводити апроксимацію функції швидкості руху. Збіжність розрахунків струмів електровоза з експериментальними даними склала 3,6%.

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ МЕТОДУ ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЄМНОСТІ ШЛЯХОМ ВИЗНАЧЕННЯ ПОСТІЙНОЇ ЧАСУ РОЗРЯДУ КОНДЕНСАТОРА

Костюков І.О.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Україна, м. Харків*

Технічна діагностика ізоляції електроенергетичного обладнання часто проводиться із використанням величин електричної ємності та тангенса кута діелектричних втрат в якості інформативних параметрів про технічний стан ізоляції. В такому випадку можна визначити два основних підходи до технічної діагностики. Перший підхід передбачає вимірювання вказаних параметрів ізоляції лише при промисловій частоті прикладеної напруги, проте в широкому діапазоні її значень. В такому випадку вимірювання найчастіше проводять із застосуванням мостів Шерінга. Застосування таких методик дозволяє відносно простими засобами визначати наявність іонізаційних процесів в електричній ізоляції. Другий підхід до технічного контролю шляхом вимірювання електричної ємності та тангенса кута діелектричних втрат передбачає їх вимірювання при низьких значеннях тестової напруги, проте в широкому діапазоні частот. Такі вимірювання не дозволяють визначити наявність іонізаційних процесів в ізоляції, але за їх допомогою можна робити висновки щодо ступеня зволоження електричної ізоляції.

Більшість з існуючих методів вимірювання електричної ємності при змінній напрузі дозволяють проводити вимірювання лише ефективних значень електричної ємності. Це призводить до суттєвого впливу паразитної індуктивності на результати вимірювання. Такий вплив стає найбільш значним при наближенні частоти тестового сигналу до резонансної частоти об'єкту контролю, що значно ускладнює фізичну інтерпретацію отриманих результатів через суттєву різницю між значеннями ефективної електричної ємності та фактичним значенням ємності, що визначається лише значенням діелектричної проникності ізоляції об'єкту контролю та її геометричними параметрами. Вказана невідповідність є мотивом для застосування методів вимірювання, що дозволяють визначати фактичні значення електричної ємності.

Один із таких методів полягає у вимірюванні електричної ємності шляхом визначення постійної часу її розряду. Проте і в такому випадку наявність паразитної індуктивності об'єкту контролю та вимірювального ланцюга може призводити до похибок при вимірюваннях через більш повільне зменшення напруги на ємності на початку перехідного процесу та більш швидке зменшення в його кінці у порівнянні з об'єктом контролю з незначною паразитною індуктивністю. До того ж наявність паразитної індуктивності, а також електричний опір електропровідних елементів конструкції об'єкта контролю призводять

до неможливості безпосереднього вимірювання напруги на ємності через те, що при контролі доступною для вимірювання буде лише напруга на об'єкті контролю, що буде визначатись сумою напруг на його ємності, паразитній індуктивності та електричному опорі електропровідних елементів конструкції.

В більшості випадків вплив паразитної індуктивності на швидкість зміни напруги на досліджуваній ємності суттєво не впливає на точність вимірювання, оскільки такий вплив є найбільш значним саме на початку перехідного процесу, в той же час в момент перехідного процесу, що дорівнює постійній часу розряду конденсатора напруга на електричній ємності об'єкта контролю із значною паразитною індуктивністю майже дорівнює напрузі на об'єкті контролю з незначною індуктивністю. Вказані особливості розрядних процесів проілюстровані на наступному рис. 1.

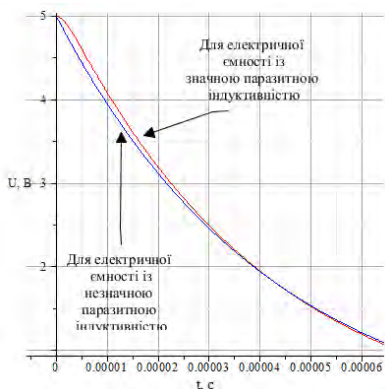


Рисунок 1 – Вплив паразитної індуктивності на розрядні процеси ємнісного об'єкта контролю

В той же час, неможливість безпосереднього вимірювання напруги на ємності об'єкта контролю через наявність його паразитних параметрів суттєво ускладнює вимірювання. З метою адаптації методу вимірювання електричної ємності за постійною часу її розряду для об'єктів контролю із значними паразитними параметрами була проведена його модифікація, що полягає у вимірюванні напруги не на електричній ємності об'єкта контролю, а на перетворювачі розрядного струму в напругу. При цьому вимірювання проводяться не з початку перехідного процесу, а з моменту часу в який розрядний струм при аперіодичному розряді ємності досягає максимального значення.

Список використаних джерел:

1. Сви П. М. Методы и средства диагностики оборудования высокого напряжения. - Москва: Энергоатомиздат, 1992. - 239 с.
2. Беспрозванных А. В., Кессаев А. Г., Щерба М. А. Частотная зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от степени увлажнения полиэтиленовой изоляции кабелей / Техническая электродинамика. - Киев. - 2016. - № 3. - С. 18–24.

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫХ РОБОТ ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ КОНТАКТНОЙ СЕТИ**Кузнецов В.Г., Сыровец А.В.***Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта
имени академика В. Лазаряна, Украина, Днепр*

В Европейском союзе развитие транспорта является важным направлением технической политики. Именно транспорт обеспечивает свободное перемещение людей и грузов. Поэтому страны европейского союза инвестируют значительные суммы в проекты, которые направлены на модернизацию транспортной инфраструктуры. В частности одним из крупных инфраструктурных проектов в Польше является строительство центрального коммуникационного порта. 7 ноября 2017 г. была принята «Концепция подготовки и реализация инвестиций в Порт Солидарность – Центральный Порт Коммуникации для Республики Польша», а уже 2 июня 2018 г. президент РП подписал соответствующий закон.

Центральный коммуникационный порт должен быть размещён между двумя мегаполисами. Идея заключается в том, чтобы размещение порта было выбрано в месте с хорошо налаженной логистикой. Таким местом выбрано город Баранов. На расстоянии около 1,5 км к югу от указанного места находится автострада; 15 км на юг проходит скоростная автомагистраль; 8 км на север находится национальная дорога; 10 км к западу пролегает ещё одна национальная дорога; 6,5 км на юго-запад разветвляется железнодорожная ветвь и 7 км к северу находится центральная железнодорожная магистраль, которая соединяет две Европейские столицы.

Согласно концепции, принятой в 2017 г., рекомендовано застроить площадь не менее 3000 гектар, а площадь ограниченного использования в величине не менее чем 6000 гектар. Электрификация является одним из ключевых направлений развития современных железных дорог. Предусмотрено строительство 1600 км новых железнодорожных линий, а также модернизацией существующих (предлагаемым исходным стандартом будет их адаптация к скорости 250 км/ч, при этом технические параметры позволяють впоследствии увеличить эти скорости). Этот проект позволит в течении 15 минут добираться от ЦПК до столицы. В рамках проекта включено присоединение к уже существующим железнодорожным ветвям и поэтапно к 2040 году будет организовано 10 железнодорожных направлений из ЦПК в различные точки Польши. Легкий доступ к ЦПК также охватит пограничные районы Чехии, Словакии, Украины, Беларуси, Литвы и Калининградской области. Считается, что предпочтительным решением для польских железных дорог являются скорости в диапазоне 200-230 км/ч. На сегодняшний день именно на электрифицированных участках железной до-

роги используется почти 80% перевозок. В связи с выше изложенным возникает потребность в повышении эффективности работ по сооружению и монтажу контактной сети.

Однако, имеются некоторые трудности связанные с переориентацией транспортных потоков, достаточно большим количеством станций, необходимостью строительства новых железнодорожных предприятий либо перегрузочных комплексов. Этот процесс достаточно трудоёмкий и естественно нуждается в координации всех железнодорожных предприятий, в том числе и компаний, занимающихся строительно-монтажными работами.

Авторы доклада предложили пути повышения эффективности работ по сооружению и монтажу контактной сети, направленные на эффективное использование парка машин и человеческих ресурсов, на непрерывность строительно-монтажных работ во время технологических окон. Предложено проводить работы по переустройству контактной сети и линий электропередач на основе комплексных критериев.

УДК 621.316

ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ НЕТЯГОВИХ СПОЖИВАЧІВ

Кузнецов В.В.¹, Сиченко В.Г.²

¹ НМетАУ, Україна, м. Дніпро

² Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Україна, м. Дніпро

Застосовувані системи тягового електропостачання передбачають живлення нетягових залізничних споживачів великих залізничних станцій і вузлів (об'єкти інфраструктури, у тому числі локомотивного і вагонного господарства, культурно-побутові об'єкти, сторонні споживачі та ін.) від тягових підстанцій. Існуючі схеми електропостачання і розподільчі мережі, що склалися на електрифікованих ділянках, не завжди задовольняють вимогам надійності електропостачання споживачів. До факторів зниження надійності слід віднести:

- загальна ситуація в електроенергетичній інфраструктурі залізничного транспорту України досить складна: значна частина обладнання, що знаходиться в експлуатації, вже вичерпала свій ресурс і потребує заміни або поетапної реконструкції та оновлення;

- відбуваються структурні зміни і в характері споживчого навантаження, а саме: збільшення частки побутового устаткування (персональні комп'ютери, сервери, принтери, блоки безперебійного живлення, мікрохвильові печі і тому

подібне), яке використовує однофазні джерела живлення, а також регульовані електроприводи систем кондиціонування і вентиляції.

Аналіз показників споживання електроенергії залізницями України виявив, що споживання електроенергії залізницями за 2010-2015 рр. зменшилося на 16,3%, при цьому питомі втрати електроенергії та кількість пошкоджень мають негативну тенденцію до зростання. Як слідує з аналізу, кількість пошкоджень пристроїв електропостачання на залізницях України за 2010-2015 рр. збільшилась приблизно на 35%. Однією з причин вказаного явища є застосування застарілого обладнання, яке вже відслужило свій термін, і потребує заміни на більш сучасне. Як відомо, при аналізі надійності технічних засобів електропостачання доцільно розглядати три групи показників: вихідні (первинні), базові та інтегральні.

У відповідності з існуючою методологією авторами виконане дослідження надійності ліній електропостачання 0,4-10 кВ на функціонуючій ділянці електрифікованої ділянки постійного струму. Серед факторів, впливаючих на надійність ЛЕП можна відзначити: сезонність, рівні навантаження та рівні напруг. Детальний аналіз отриманих результатів буде представлено в доповіді.

Список використаних джерел:

1. Ратнер, М.П. Электроснабжение нетяговых потребителей железных дорог. [Текст]/ М.П. Ратнер, Е.Л. Могилевский. – М.: Транспорт, 1985. – 295 с.
2. Сиченко, В.Г. Электроживлення пристроїв залізничної автоматики. [Текст]/ В.Г. Сиченко, В.І. Гаврилук. Дн-вськ.: Вид-во Маковецький, 2009. – 372 с.
3. Сиченко, В. Г. Якість електричної енергії у тягових мережах електрифікованих залізниць / В. Г. Сиченко, Ю. Л. Саєнко, Д. О. Босий. – Д.: ПФ Стандарт-Сервіс, 2015. – 344 с.
4. Аналіз роботи господарства електрифікації та електропостачання в 2015 році. Департамент електропостачання. Київ: ТОВ «ВД «Мануфактура», 2016.
5. В. Г. Кузнецов та ін., Надійність і діагностика пристроїв тягового електропостачання, Дніпропетровськ: Вид-во Маковецький О. В., 2009.
6. Электрические системы и сети: Учебник для вузов. - М.: Энергоатомиздат, 1989, - 592 с.
7. Закон України «Про електроенергетику» від 16.10.1997 року № 575/97-ВР (Редакція станом на 16.10.2018).
8. Постанова НКРЕ України №232 від 17.02.2011 «Про затвердження форм звітності № 17-НКРЕ (квартальна) «Звіт щодо показників надійності електропостачання» та № 18-НКРЕ (квартальна) «Звіт щодо показників комерційної якості надання послуг та інструкцій щодо їх заповнення». – [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/z0374-11>.

АЛГОРИТМ ПОБУДОВИ ДИСКРИМІНАНТНИХ ФУНКЦІЙ ПРИ РОЗДІЛЕННІ НА ДЕКІЛЬКА ДІАГНОЗІВ

Кулик О.С., Шутенко О.В.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Україна, м. Харків*

Чинними міжнародними, національними та відомчими стандартами по інтерпретації аналізу розчинених в маслі газів (АРГ) для розпізнавання типу дефекту маслоснаповненого обладнання рекомендується використовувати три критерії: значення відношень газів [1], значення відсоткового вмісту газів [2] і значення відношень концентрацій газів до газу з максимальною концентрацією [3]. Як показано в [4-5] використання лише одного з цих трьох критеріїв не завжди дозволяє достовірно розпізнати тип дефекту. Для підвищення надійності розпізнавання пропонується використовувати дискримінантні функції виду:

$$\begin{aligned} f_i = & \lambda_0 + \lambda_1 \cdot \frac{CH_4}{H_2} + \lambda_2 \cdot \frac{C_2H_6}{CH_4} + \lambda_3 \cdot \frac{C_2H_4}{C_2H_6} + \lambda_4 \cdot \frac{C_2H_2}{CH_4} + \lambda_5 \cdot \frac{C_2H_2}{C_2H_6} + \lambda_6 \cdot \frac{C_2H_2}{C_2H_4} + \\ & + \lambda_7 \cdot H_2\% + \lambda_8 \cdot CH_4\% + \lambda_9 \cdot C_2H_6\% + \lambda_{10} \cdot C_2H_4\% + \lambda_{11} \cdot C_2H_2\% + \lambda_{12} \cdot \frac{H_2}{A_{i \max}} + \\ & + \lambda_{13} \cdot \frac{CH_4}{A_{i \max}} + \lambda_{14} \cdot \frac{C_2H_6}{A_{i \max}} + \lambda_{15} \cdot \frac{C_2H_4}{A_{i \max}} + \lambda_{16} \cdot \frac{C_2H_2}{A_{i \max}}, \end{aligned} \quad (1)$$

де: λ_i – вагові коефіцієнти, значення яких визначаються так, щоб значення f_i приймало максимальні значення для обладнання з даним типом дефекту; $H_2\%$, $CH_4\%$, $C_2H_6\%$, $C_2H_4\%$, $C_2H_2\%$ – відсотковий вміст газів; $A_{i \max}$ – газ з максимальною концентрацією.

При розділенні на n діагнозів (часткові розряди, іскрові та поверхневі розряди, розряди з низькою та високою щільністю енергії, перегріву з температурою менше 150°C, перегріву в діапазоні температур 150-300°C, перегріву в діапазоні температур 300-500°C, перегріву в діапазоні температур 500-700°C, перегріву з температурою вище 700°C, а також комбіновані дефекти), для дискримінантної функції (1), отриманої для i -того діагнозу, повинна виконуватися умова [6]:

$$f_i(x) > f_j(x), \text{ для } x \in D_i \text{ (} j = 1, 2, \dots, n; j \neq i \text{)} \quad (2)$$

Для побудови дискримінантних функцій необхідно визначити вектор вагових коефіцієнтів λ , які б забезпечували виконання умови (2). Для вирішення даної задачі використовуються навчальні послідовності, тобто сукупність зразків з відомим діагнозом (сукупність *верифікованих* зразків). В якості такої вибі-

рки використовуються результати АРГ для більш ніж 2500 одиниць обладнання з дефектами різного типу. При визначенні вектора λ використовувалася процедура послідовних наближень. Для навчання подається перший зразок $x_{(1)}$, щодо якого діагноз відомий. В якості першого наближення для вектора λ приймається

$$\lambda_{(1)} = x_{(1)}, \text{ если } x_{(1)} \in D_1. \quad (3)$$

Припустімо, що в k -му наближенні визначені вагові вектори $\lambda_{i(k)}$ і подається $(k+1)$ -й зразок $x_{(k+1)}$, що належить діагнозу D_i . При цьому можуть виникнути дві ситуації. Якщо

$$\lambda_{i(k)} \cdot x_{(k+1)} > \lambda_{j(k)} \cdot x_{(k+1)} \quad (j=1, 2, \dots, n; j \neq i), \quad (4)$$

то вагові вектори не потребують коригування і приймається $\lambda_{j(k+1)} = \lambda_{j(k)} \quad (j=1, 2, \dots, n)$.

Якщо деякі дискримінантні функції $f_s(x)$ виявили значення більші, ніж $f_i(x)$, тобто $f_s(x_{(k+1)}) > f_i(x_{(k+1)})$, $x_{(k+1)} \in D_i \quad (s=1, 2, \dots, n; s \neq i)$, то приймається

$$\lambda_{i(k+1)} = \lambda_{i(k)} + x_{(k+1)}; \quad \lambda_{s(k+1)} = \lambda_{s(k)} - x_{(k+1)}. \quad (5)$$

Таким чином, «підсилюється» ваговий вектор, що відповідає i -й розділяючій функції, і «послаблюються» інші вагові вектори, що порушили умову (2).

Список використаних джерел:

1. IEC Publication 60599, Interpretation of the analysis of gases in transformer and other oil med electrical equipment in &, Geneva, Switzerland, 2015;
2. Duval M., Lamarre L. "The duval pentagon-a new complementary tool for the interpretation of dissolved gas analysis in transformers" // IEEE Electrical Insulation Magazine. – 2014. – vol. 30. – Issue 6. – pp. 9-12;
3. T. Kawamura, N. Kawada, K. Ando, M. Yamaoka, T. Maeda, T. Takatsu, "Analyzing gases dissolved in oil and its application to maintenance of transformers", *SIGRE Session. Report 12–05. Paris*, 1986;
4. Oleg Shutenko "Analysis of gas composition in oil-filled faulty equipment with acetylene as the key gas" // *Energetika* – 2019. – Vol 65, No 1 – pp 21-38; DOI: <https://doi.org/10.6001/energetika.v65i1.3973>;
5. Kulyk O. S.; Shutenko, O. V. "Analysis of Gas Content in Oil-Filled Equipment with Spark Discharges and Discharges with High Energy Density" // *Transactions on Electrical and Electronic Materials*. – 2019. –Volume 20, Issue 5, pp. 437–447. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42341-019-00124-8>;
6. Бондаренко В. Е. Математические основы технической диагностики объектов электрических сетей: учеб. пособ. в двух частях, часть 1 / В. Е. Бондаренко, О. В. Шутенко, Д. Н. Баклай – Х. : НТУ «ХПИ», 2017. – 256 с.

АКТИВНА ПІДСТАНЦІЯ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ**Мальгівський Р.В.***Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна, Україна, м. Дніпро*

Більше 80 % енерговитрат електрифікованого транспорту припадає на електричну тягу. Зниження цього показника потребує розвитку інноваційних енергозберігаючих технологій та безпосередньо пов'язано з реалізацією програми сталого розвитку «Україна – 2020». Впровадження швидкісного руху, збільшення вагових норм потягів зумовлює необхідність нарощування провізної здатності залізниць. Для цього здійснюються заходи зі збільшення швидкостей руху застосовуються різні способи підсилення тягового електропостачання. Система тягового електропостачання постійного струму не завжди в змозі забезпечити передачу електроенергії необхідної потужності і високої якості для цих потягів. До виникаючих обмежень відносяться зниження напруги на струмоприймачеві електровоза нижче допустимого для нормальної експлуатації значення 2700 В (для швидкісного руху 2900 В). Зниження напруги на струмоприймачі знижує швидкість руху поїздів, а за збереження споживаної потужності відбувається збільшення струму електровоза і втрат електричної енергії в тяговій мережі.

З урахуванням того, що в Україні, так само як і на залізницях країн світу, за системою постійного струму електрифіковано близько половини ліній з електричною тягою, очевидно, що необхідна реконструкція системи електричної тяги постійного струму, спрямована на підвищення пропускну і провізної здатності. При цьому мають бути максимально реалізовані переваги цієї системи з мінімальними додатковими капітальними вкладеннями. Так, як у тягових мережах постійного струму 3 кВ найважливішими показниками якості електроенергії є відхилення та коливання напруги. Оглянувши розробки і дослідження наукових і навчальних інститутів, залізниць, зарубіжних організацій і фірм показує, що усунення обмежень по напрузі і струмовим навантаженням в контактній мережі системи електротяги 3 кВ може бути вирішене з найменшими витратами за допомогою систем і пристроїв підвищення та автоматичного регулювання випрямленої напруги. Поява перетворювачів електричної енергії на основі потужних швидкодіючих ключів на IGCT та IGBT зробила можливим створення високоефективних систем тягового електропостачання постійного струму. Для якісного живлення ЕРС залізниць та поліпшення електромагнітної сумісності системи тягового електропостачання постійного струму із суміжними електроустановками являється доцільним застосування активних випрямлячів. Вони включають IGBT транзистори, що дозволяє додавати нові функції до традиційних випрямлячів, такі як регулювання напруги, фільтрація гармонік або обмеження струмів короткого замикання. Ця структура може бути використана для нової установки або реконструкції існуючих, бо передбачає лише заміну випрямляча без повної реконструкції підстанції. Таке рішення містить багато переваг, як функціональна простота або високий потенціал транзиту енергії. Економічний ефект досягається за рахунок зменшення втрат енергії, підтримки необхідного рівня напруги в контактній мережі і збільшення коефіцієнта використання потужності основного енергетичного устаткування при зниженні його встановленої потужності.

РЕЖИМ ПОЛНОЙ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ С УЧЕТОМ СВОЙСТВ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Машин А.Д., Степанчук М.С., Ягуп В.Г., Ягуп Е.В.

*Харьковский национальный университет городского хозяйства
им. А. Н. Бекетова, Украина, г. Харьков*

Рассматривается система электроснабжения (рис. 1), питающийся от синхронного генератора с большим значением реактивного сопротивления равным $Z_s = (0,066 + j3,2)$ Ом, расчет энергетических показателей которой приведен в [1].

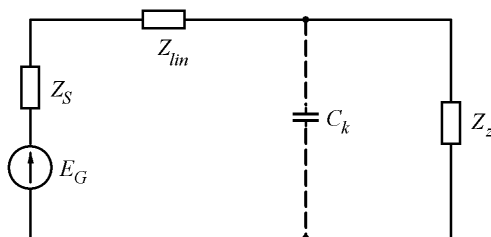


Рисунок 1 – Эквивалентная схема системы электроснабжения

Для исследования рассмотренной в [1] системы используется системный подход с применением поисковой оптимизации к визуальной модели [2]. Результаты моделирования продемонстрировали значительное расхождение с вычислениями, полученными в [1]. Значение реактивной мощности согласно [1] должно быть равным нулю, однако при использовании моделирования оно достигает минимального значения $1,989 \cdot 10^6$, что свидетельствует о достижении лишь частичной компенсации реактивной мощности в системе. Таким образом, продемонстрировано, что отсутствие системного подхода приводит к некорректным результатам, причиной которых является необоснованно большое значение реактивного сопротивления синхронного генератора.

Далее метод поисковой оптимизации используется для нахождения уточненных параметров системы электроснабжения, обеспечивающие заданные уровни потребления активной мощности нагрузкой и отдачи заданного уровня активной мощности синхронным генератором. Для этой цели используется математический пакет MathCAD с применением блока given-find. Решение реализуется с помощью уравнения равновесия и ограничений, задающих уровни активной мощности, отдаваемой генератором и потребляемой нагрузкой. Решение проведено относительно двух переменных: тока в линии электропередачи и

суммарного комплексного сопротивления Z оператора в линии электропередачи. В результате получено комплексное сопротивление генератора в линии электропередачи, составляющее величину $Z_s = (0,1+j0,077)$ Ом. Величина реактивной составляющей значительно меньше принятой в [1]. Показано, что при найденных скорректированных параметрах системы электроснабжения обеспечивается достижение режима полной компенсации реактивной мощности. При этом режиме снижения активных потерь в линии электропередачи оказывается на 20% больше, чем при режиме частичной компенсации реактивной мощности.

Также с применением поисковой оптимизации к визуальной модели (рис. 2) определена емкость синусного конденсатора, обеспечивающая полную компенсацию реактивной мощности.

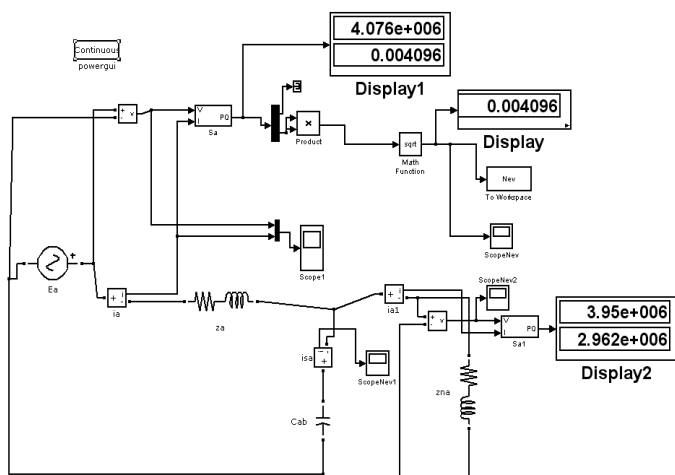


Рисунок 2 – Визуальная модель с рассчитанным суммарным сопротивлением после завершения процесса оптимизации

Список использованных источников:

1. Міліх В. І. Електропостачання промислових підприємств: Підручник для студентів електромеханічних спеціальностей//В. І. Міліх, Т. П. Павленко. – Харків: ФОП Панов А. М., 2016. – 272 с.
2. Ягуп В. Г. Применение оптимизационных методов для решения задач улучшения показателей электрических систем. // В. Г. Ягуп., Е. В. Ягуп. – Харьков: ХНУГХ имени А. Н. Бекетова. – 2017. – 170 с.

ОСОБЛИВОСТІ РЕЖИМУ ОХОЛОДЖЕННЯ ПОЛІЕТИЛЕНОВОЇ ІЗОЛЯЦІЇ ВИСОКОВОЛЬТНИХ СИЛОВИХ КАБЕЛІВ

Мірчук І.А.

Приватне акціонерне товариство "Український науково-дослідний інститут кабельної промисловості", Україна, м. Бердянськ

Режим охолодження полімерної ізоляції після накладення на екструдері є одним з основних факторів, що визначають експлуатаційні характеристики кабелю. Технологічний режим охолодження накладеного на мідну жилу розплавленого полімерного покриття визначає не тільки експлуатаційні параметри, але і стабільність характеристик в процесі експлуатації. Охолодження відбувається в умовах неоднорідного температурного поля і фазових перетворень в ізоляції, що призводить до неоднорідним полях деформації і напруг полімеру. В результаті, при певних технологічних умовах, з'являються порожнечі (каверни) в ізоляції і відшарування полімеру від струмопровідної жили, що не може бути допустимо з точки зору високовольтної ізоляції силових кабелів. Теплові процеси, що відбуваються в охолоджувальній кабельної ізоляції, впливають на утворення в ній порожнин, ступінь кристалічності та молекулярну структуру полімеру; "загартування" ізоляції при охолодженні, тобто виникнення в ній внутрішніх механічних напружень; адгезію ізоляції до металевого провідника і на якість її зовнішньої поверхні. Крім забезпечення необхідних показників якості виготовленого кабелю необхідно забезпечити стабільність електричних характеристик кабелю в експлуатації, тобто при старінні ізоляції. Недотримання оптимальних технологічних режимів охолодження полімерної ізоляції кабелю може викликати її прискорене старіння, що призводить до виходу кабелю з ладу, наприклад, при розтріскуванні ізоляції.

При різкому охолодженні можливо також утворення внутрішніх порожнин в товщі екструдованої ізоляції. Найбільшою мірою цей процес можливий при охолодженні поліетилену, у якого об'єм розплаву при температурі 200° С практично на 25% вище, ніж при 20°С: різка зміна об'єму відбувається поблизу його температури плавлення. В результаті відбувається нерівномірне скорочення обсягу верхніх і внутрішніх шарів ізоляції, особливо для кабелів зі значною товщиною ізоляції. Різне охолодження поліетилену призводить до утворення тріщин (рис. 1), повітряних включень як між ізоляцією і струмопровідної жилою, так і в шарах, розташованих поблизу жили, що в експлуатації при дії сильного електричного поля призводить до виникнення часткових розрядів.



Рисунок 1 – Тріщина в поліетиленовій ізоляції, отримана силовим електронним мікроскопом

**ЗАПРОВАДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ
НА ПІДПРИЄМСТВІ****Мітін А.В.***Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна, Україна, м. Дніпро*

Енергетичний менеджмент є вагомим інструментом скорочення споживання енергії та підвищення ефективності її використання. Впровадження енергетичного менеджменту дає змогу отримати детальну картину споживання ресурсів, дати оцінку проектів економії енергії, що плануються до впровадження. В ідеалі на виробництві бажано запровадити систему енергетичного менеджменту (СЕМ), яка представляє собою частину загальної системи управління і базується на стандарті ISO 50001 або на українському стандарті. Від самого початку впровадження СЕМ керівництво підприємства повинно визначити політику в сфері енергоресурсозбереження. По закінченню кожного циклу повинна здійснюватись оцінка ефективності функціонування СЕМ. Найважливішими елементами СЕМ являється наступне: політика в сфері енергозбереження, планування споживання ПЕР, впровадження та функціонування системи енергетичного менеджменту включаючи розподіл обов'язків, навчання персоналу, обмін інформацією, створення необхідної документації), моніторинг та кількісна оцінка, виявлення невідповідностей та внесення необхідних змін, дослідження ефективності роботи СЕМ. Надзвичайно важливим моментом функціонування системи енергоменеджменту є безперервне її покращання.

Однією з складових зниження енергоємності виробництва, як в цілому по областях виробництва, так і, зокрема, на підприємстві, є проведення енергетичного аудиту за різними напрямками споживання енергоресурсів. З наукової точки зору енергоаудит (енергетичне обстеження) - це визначення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів та розробка рекомендацій щодо їх покращення.

Головна мета енергетичного аудиту це пошук шляхів надання допомоги суб'єктам господарювання для визначення напрямів ефективного енерговикористання. Енергетичний аудит призначений для вирішення таких головних завдань:

- обстеження стану використання енергетичних ресурсів на кожному з об'єктів дистанції електропостачання;
- визначення потенціалу заощадження енергії;
- розроблення організаційно-технічних заходів, спрямованих на зниження енергетичних витрат;
- економічне обґрунтування організаційно-технічних заходів.

Методологія ведення енергоаудита залежить від тієї інформації, що прагне одержати й за яку бажає платити клієнт, а також від состава використовуюваного в ході обстеження контрольно-вимірювального устаткування.

З одного боку, енергоаудит може бути простим оглядом енергоспоживання, заснованим на даних лічильників підприємства. З іншого боку, енергоаудит може бути комплексним і трудомістким процесом по визначенню й ідентифікації всіх напрямків витрати енергії й передбачати установку нового постійного вимірювального устаткування, тестування й вимір протягом тривалого періоду часу, і в результаті детальної перевірки видасть детальні рекомендації. Природно, останній тип аудита буде значно дорожче, ніж перший.

З метою визначення та аналізу фактичного стану використання енергетичних ресурсів на підприємстві «У» був проведений енергетичний аудит, було складено баланс річного споживання енергетичних ресурсів та баланс витрат. Автором розроблено шляхи для покращення використання потенціалу енергозбереження на підприємстві.

УДК 621.31

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РЕЖИМУ «ВІДРИВ-ТОРКАННЯ» СТРУМОПРИЙМАЧА НА СТРУМОРОЗПОДІЛ У ФІДЕРНІЙ ЗОНІ СИСТЕМИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Міщенко Т.М., Сердюк К.С.

*Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна, Україна, м. Дніпро*

За даними досліджень найбільш пошкоджуваними елементами контактної мережі є контактні проводи. В середньому кількість їх відмов по Україні становить 16 % на 100 км системи електротяги постійного струму. Головною причиною цих відмов можна назвати перепал контактних проводів, до якого призводить електрична дуга, виникаюча внаслідок неякісного струмознімання. Однією з проблемструмознімання є відрив, з подальшим доторканням, струмоприймача від проводів.

Режим короточасного зняття напруги на струмоприймачі електрорухомого складу з наступним її відновленням можливий у випадках: відриву струмоприймача від контактного проводу під час руху поїзда через вібрацію чи коливання струмоприймача; в місцях секціонування контактної мережі, проїжджаючи повітряні проміжки; наявності ожеледі; при використанні пристроїв автоматичного повторного ввімкнення, а саме вимиканні фідера швидкодіючим вимикачем і його повторному вмиканні пристроями АПВ. При експлуатації

найчастіше зустрічається перший в переліку випадок. «Відрив-торкання» струмоприймача під навантаженням може тривати від декількох десятих секунди до двох секунд.

Дослідження аварійних режимів у тяговій мережі можливо виконати декількома способами: експериментальним шляхом в реальних умовах експлуатації; методами математичного моделювання. Використання експериментального методу дослідження аварійних перехідних процесів в умовах реальної експлуатації потребує значних матеріальних витрат та нерідко призводить до виходу з ладу елементів системи. Доцільніше буде використовувати метод математичного моделювання, що дозволяє спростити і скоротити реальні випробування; розширює можливості дослідження, допускаючи широку варіацію значень параметрів елементів електричних кіл. У зв'язку з поширенням новітнього програмного забезпечення, такого як MATLAB, можливе виконання імітаційного моделювання, яке ми і будемо використовувати.

Необхідність дослідження впливу режиму «відрив-торкання» струмоприймача на струморозподілення у фідерній зоні системи постійного струму можемо бачити з його наслідків: поява кидків тягового струму в силових колах електрорухомого складу і фідерних струмів тягової підстанції; небезпека перепалу контактного проводу відкритою електричною дугою між струмоприймачем і контактним проводом; зниження надійності контактної мережі.

Використовуючи імітаційний метод моделювання режиму «відрив-торкання» струмоприймача до контактному проводу у середовищі MATLAB. Вдослідити вплив тривалості відриву та вплив імовірнісного характеру напруги на струморозподілення у фідерній зоні системи постійного струму.

В цій роботі методами імітаційного моделювання досліджено зазначений режим при пуску електровозів ДЕ 1 та ВЛ 8 при двосторонньому живленні тягової мережі. При цьому моделлю електричної дуги було прийнято лінійний резистор з опором 0,22 Ом.

За результатами моделювання встановлено, що найбільш енергетично небезпечним є етап відновлення напруги, який залежить головним чином від тривалості її зняття. Зокрема при пуску електровозу на етапі торкання максимальні значення кидків фідерних струмів склали: для ТП1 – 480...500 А, ТП 2 – 360...380 А; електровоза 620...660 А. Із зростанням відстані між поїздом і тяговою підстанцією амплітуда кидка фідерного струму зменшується і коливається в межах 370...760 А. Чим ближче електрорухомий склад знаходиться до ТП, тим більші кидки струмів і електровозів, і фідера. Напруги на ТП в режимі «відрив-торкання» змінюються не виходячи за межі 2900...3450 В.

МОДЕРНИЗАЦІЯ СЕТЕЙ ЕЛЕКТРОСНАБЖЕННЯ ПРИ ПОМОЦІ ТЕХНОЛОГІЙ «SMARTGRID»

Мирошник А.А., Сивенко М.М.

*Харьковский национальный технический университет
сельского хозяйства имени Петра Василенко, Украина, г. Харьков*

Изменение концепции развития современной энергетики обусловлено растущим интересом к возобновляемым источникам энергии. Наиболее быстрыми темпами среди маломощных распределенных возобновляемых источников энергии развиваются солнечные фотоэлектрические станции, работающие как автономно, так и могут быть интегрированы в промышленной сети, установленная мощность которых колеблется в диапазоне от нескольких киловатт до ста мегаватт.

Целью исследования является доказать эффективность интеллектуальной системы электроснабжения с двунаправленным энергетическим потоком «SmartGrid» при помощи модельного анализа.

Функционирование системы электроснабжения SmartGrid обусловлено режимами работы промышленной сети, возобновляемых источников энергии и переменным графиком нагрузки. Поэтому на перед проектной стадии следует промоделировать работу интеллектуальной системы электроснабжения в рабочих режимах.

Для определения ежедневной облученности необходимо учитывать угол установки солнечных модулей и определить среднemesячное поступление солнечного излучения в кВт·ч/мес.

Склонение Солнца (угол между линией, соединяющей центры Земли и Солнца, и ее проекцией на плоскость экватора) в средний день месяца, град:

$$\begin{aligned}\delta &= 23.45 \cdot \sin(360 \cdot (284 + n) / 365) = \\ &= 23.45 \cdot \sin(360 \cdot (284 + 228) / 365) = 22.10^\circ,\end{aligned}\quad (1)$$

где n – порядковый номер дня, отсчитанный от 1 января (номер среднего расчетного дня для каждого месяца года).

Для обеспечения условий поглощения солнечной энергии солнечными панелями, его поглощающая поверхность должна быть ориентирована на юг с углом наклона $\beta_{\text{опт}}$, который будет равен:

$$\beta_{\text{опт}} = \varphi_p - \delta_c, \quad (2)$$

где φ_p – широта местности, где рассматривается проектирование ФЭС.

Согласно рис. 2 оптимальным углом наклона солнечных батарей составит 45 градусов, что показывает аппроксимация на графике.

В качестве объекта для моделирования рассмотрим локальную систему электроснабжения, которая представляет собой совокупность мелких домохозяйств, электроснабжение которых осуществляется от трансформаторной подстанции по магистральной схеме четырехжильной кабельной линией 0,4 кВ.



Рисунок 1 – Угол склонения Солнца по месяцам

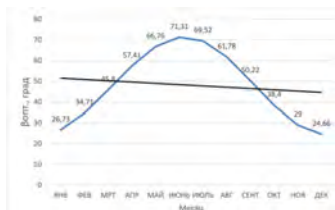


Рисунок 2 – Оптимальный угол установки фотоэлементов

Модель состоит из трех блоков SolarStation, имитирующие распределены солнечные электростанции разной номинальной мощности, блока EnergyStorage, имитирующий системный накопитель, блоков Load, имитирующие линейные активно-реактивные и нелинейные нагрузки, и блоков PAF, имитирующие параллельные силовые активные фильтры.

На равном удалении от распределенных солнечных электростанций устанавливается системный энергоемкий накопитель.

Системный накопитель энергии заряжается от солнечных электростанций, а в случае полного заряда включаются сетевые инверторы и возобновляемые источники отдают энергию в сеть переменного тока. Многообразие режимов работы SmartGrid обеспечивается информационным уровнем, на котором собирается информация о состоянии каждого элемента системы и в соответствии с алгоритмами формируются управляющие воздействия, отрабатываются силовыми полупроводниковыми преобразователями.

В Matlab-модели реализовано моно-кристаллический солнечный фотомодуль CHN200-72M с характеристиками: максимальная мощность - $P_m = 200$ Вт; количество элементов на модуль - $N = 72$; напряжение холостого хода $U_{oc} = 45$ В; ток короткого замыкания - $I_{sc} = 5,8$ А; напряжение в точке отбора максимальной мощности - $U_{mp} = 38,8$ В; ток в точке отбора максимальной мощности - $I_{mp} = 5,15$ А; максимальное напряжение системы постоянного тока - $UDC_{max} = 1000$ В; температура при нормальных условиях - $NOCT = 45^{\circ}C \pm 2^{\circ}C$; температурный коэффициент напряжения холостого хода - $K_{oc} = -0,34\%/^{\circ}C$; температурный коэффициент тока короткого замыкания - $K_{sc} = +0,66\%/^{\circ}C$; температурный коэффициент максимальной мощности - $K_{Pm} = -0,44\%/^{\circ}C$; КПД - 18,31%.

Сопоставление данных таблицы предоставляет наглядное представление об уменьшении уровня потерь при введении SmartGrid. Резерв повышения КПД путем введения SmartGrid, имеет две составляющие, первая из которых связана с нормализацией режима электропотребления, а вторая - с оптимизацией структуры сети, когда сокращаются расстояния между источниками энергии и потребителями и уменьшается плотность сетевого энергетического потока и магистральной линии. Причем вторая составляющая вносит более существенный вклад в увеличение КПД системы электроснабжения. По принятых в модели параметрам участков питающей линии применения силового активного фильтра приводит к увеличению КПД практически на 4,6%, а перераспределение энергетических потоков, за счет генерации энергии солнечными электростанциями, приводит к увеличению КПД на 11,9%.

Таблиця 3 - Сопоставление энергетических характеристик SmartGrid в различных режимах работы

Режим работы	Сеть без SG	Сеть з SG	Сеть с SG без ФЕС	Сеть с SG без САФ	Автономный без САФ
P_s , Вт	20271	5976	19301	7070	0
Q_s , Вт	13103	-34,5	25,7	15101	0
P_{ES} , Вт	0	0	0	0	25,032
Q_{ES} , ВАр	0	0	0	0	-12313
P_{LS} , Вт	15964	19964	16085	19882	23338
Q_{LS} , ВАр	13101	16365	13205	16299	19139
P_{st1} , Вт	0	9001	0	8990	0
P_{st2} , Вт	0	3789	0	3968	0
P_{st3} , Вт	0	1906	0	1907	0
ΔP , Вт	4307	707,4	3216	2054	1643
η	0,7875	0,9685	0,8334	0,9064	0,9343

Таким образом общесистемные потери в исследуемой SmartGrid уменьшаются в 6 раз, а КПД системы электроснабжения повышается на 16,5%, при снижении среднесуточного потребления электроэнергии от сети питания в летний период на 70%.

Список использованных источников:

1. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 01.10.14 № 902-р «Про Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року».
2. Smolenski R. Conducted Electromagnetic Interference (EMI) in Smart Grids / R. Smolenski. – Springer-Verlag London, 2012. – 160 p.
3. Gow J.A. Development of a photovoltaic array model for use in power-electronics simulation studies / J.A. Gow, C.D. Manning // IEEE Proceedings- Electric Power Applications. – 1999. – Vol. 146. – No. 2. – P. 193-199.
4. NIST Framework and Road map for Smart Grid Interoperability Standards, Release 3.0 // Office of the National Coordinator for Smart Grid Interoperability, U.S. Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology, 2014. – 246 p.
5. Жемеров Г. Г. Зависимость дополнительных потерь в трехфазных системах электроснабжения от реактивной мощности и пульсаций мгновенной активной мощности / Г. Г. Жемеров, Д. В. Тугай // Технічна електродинаміка. – Київ: ІЕД НАНУ. – 2015. – №4. – С. 66–70.
6. Козюков Д.А. Моделирование характеристик фотоэлектрических модулей в Matlab/Simulink / Д.А. Козюков, Б.К. Цыганков // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – №. 112. – С. 1–16.
7. Артеменко, М.Ю. Аналіз можливості збільшення ККД трифазної чотирипровідної системи живлення засобами паралельної активної фільтрації / М.Ю. Артеменко, Батрак Л. М., Михальський В. М., Поліщук С. Й. // Технічна електродинаміка. – 2015. – № 6. С. 12–18.
8. Артеменко, М.Ю. Потужність втрат трифазної чотирипровідної системи живлення / М.Ю. Артеменко, В.О. Лесик, С.Й. Поліщук // Електроніка та зв'язок. – 2016. – № 5. С. 25–30. – doi: 10.20535/2312-1807.2016.21.5.81925.
9. Жемеров Г.Г. Энергия и мощность в системах электроснабжения с полупроводниковыми преобразователями и накопителями энергии / Г.Г. Жемеров, Д.В. Тугай // Електротехніка і електромеханіка. – 2014. – № 1. – С. 45-57.

СИСТЕМА ЖИВЛЕННЯ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ ТЯГОВОЇ ПІДСТАНЦІЇ З ЗАСТОСУВАННЯМ СОНЯЧНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ

Новіков С.А.

*Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна, Україна, м. Дніпро*

В наш час суттєво збільшується вплив відновлюваних джерел енергії на розвиток електроенергетики. Використання фотоелектричних модулів (ФЕМ) у процесі перетворення сонячної енергії в електричну відкриває новий етап у розвитку сонячних електростанцій.

В останні роки ККД ФЕМ суттєво збільшився (до 25-30%), що дозволяє отримувати до 250 кВт*год/м² електричної енергії в рік. Вклад СЕС у світовий видобуток електроенергії не перевищує 0,1 %, а серед ВДЕ їй належить лише близько 1 %. Однак, незважаючи на малі успіхи в великомасштабному видобутку електроенергії із сонячної енергії, темпи росту потужностей на основі СЕС за період з 1996 по 2014 рік збільшилися більше ніж у 81 рази (з 0,7 до 57 ГВт) і продовжують швидко рости.

При проектуванні приєднань СЕС для живлення тягових споживачів, власних потреб, а також районних споживачів слід передбачати видачу електроенергії на шини високої напруги 110–220 кВ тягових підстанцій через окремі трансформатори 10/110–220 кВ та лінії відповідної напруги з проведенням реконструкції розподільчих пристроїв високої напруги тягових підстанцій. При цьому, у кожному окремому випадку необхідно здійснювати аналіз розрахунків режимів роботи як вузлів зв'язку з енергосистемою, так і шин 6-35 кВ своїх підстанцій, до шин високої напруги яких здійснюється такі приєднання.

При такому варіанті приєднання сонячна генерація працює паралельно з традиційною генерацією і має з нею безпосередній зв'язок, що послаблює вплив особливостей роботи СЕС. Також можливим є варіант використання електроенергії СЕС невеликою потужності для заряду акумуляторних батарей тягових підстанцій.

Загальне навантаження власних потреб тягових підстанцій з урахуванням живлення ланцюгів підігріву вимикачів, електроопалення будівель підстанцій, електропостачання пристроїв СЦБ і споживачів чергового пункту району контактної мережі досягає 1400 кВА на опорних підстанціях 220 кВ, 970 кВА - на опорних підстанціях 110 кВ, 400-800 кВ-А - на транзитних підстанціях напругою 110-220 кВ. При цьому потужність живлення пристроїв СЦБ досягає 100 кВ А на одну підстанцію, потужність підігріву вимикачів - від 25 до 650 кВ-А в залежності від кількості вимикачів; потужність на опалення будівель підстанцій від 60 (підстанції змінного струму) до 140 кВ А (підстанції постійного струму);

потужність освітлювальної установки будівлі підстанції - 4-6 кВ А, відкритій території - 35кВА.

Час, при якому освітлені сонячні батареї починають ефективно працювати, знаходиться між 9 та 15 годинами. В інші години кількість отриманої енергії незначна, або дорівнює нулю. Тобто практично всю отриману енергію потрібно буде акумулювати для підвищення надійності в електропостачанні споживачів та безперебійної роботи. Це є серйозним недоліком автономних СЕС. До того ж акумуляторні батареї працюють в циклічному режимі, тому необхідна їх часта заміна. А використання промислових акумуляторів з тривалим терміном служби вимагають значних фінансових вкладів. Також потрібно враховувати, що в акумуляторах ефективність процесів заряду-розряду складає 90% з наступним зниженням у ході експлуатації.

Щоб захистити батарею від надлишкової розрядки, навантаження повинна бути відключена, коли напруга батареї падає нижче напруги відключення. Навантаження не повинно підключатися до моменту, коли напруга не зросте до певного порогу (напруги підключення).

При умові, що встановлена СЕС достатньою потужності, на літній період можна повністю переходити на споживання від сонячних батарей і реалізувати схему автоматичного вводу в роботу для власних потреб.

Для дослідження паралельної роботи СЕС і ЕС змодельована імітаційна модель в програмному комплексі MatLab спільно з Simulink на основі функціональної схеми та рівнянь, що описують процеси в СЕС.

Важливим компонентом СЕС є перетворювач, який має в своєму складі підвищуючий перетворювач напруги (DC/DC-перетворювач) від 200 до 700 В, трьохфазний інвертор, виконаний на основі IGBT-модулів, регулятори струму та напруги.

В складі перетворювача трьохфазні інвертори виконують наступні основні задачі:

- перетворення постійного струму в змінний для ЕС;
- синхронізація за частотою, напругою і кутом з ЕС;
- стабілізація вихідної напруги;
- обмеження струмового перевантаження при к.з.

Одже, розроблена модель може бути використана для проектування тягової підстанції, живлення власних потреб якої здійснюється не лише від енергосистеми, а й від СЕС, що надасть змогу суттєво збільшити надійність живлення споживачів власних потреб та зменшити фінансові витрати.

УДОСКОНАЛЕННЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ОПОР КОНТАКТНОЇ МЕРЕЖІ В УМОВАХ ОДЕСЬКОЇ ЗАЛІЗНИЦІ

Олійник В.С., Полях О.М.

*Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна, Україна, м. Дніпро*

Надійність пристроїв електропостачання залізниць обумовлює безперебійний рух потягів. Вихід з ладу навіть однієї опори контактної мережі може привести до значних перебоїв перевезення і втрат. Тому питанню технічного стану опор контактної мережі приділяється значна увага. А з урахуванням того, що опори практично вичерпали свій ресурс експлуатації (працюють понад 40 років і більше), та з переходом експлуатації їх не за часом а по технічному стану то діагностиці опор контактної мережі, приділяється особлива увага. На залізницях України експлуатується 358 452 опори а кількість опор які потребують заміни з кожним роком збільшуються. У середньому час на діагностику однієї опори різними методами діагностування практично однаковий і за зміну однієї бригади діагностування можна перевірити всього 8 опор. З кожним роком кількість опор, які необхідно діагностувати, збільшується. Тому необхідно час на дослідження технічного стану опори контактної мережі і прийняття рішення на її подальшу експлуатацію зменшувати. Досвід показує, що серед опор, термін експлуатації яких понад 40 років, є значна кількість опор, у яких ресурс не вичерпано.

З вищевикладеним актуальною є задача удосконалення діагностування опор контактної мережі електричного транспорту змінного струму шляхом застосування нових методів діагностування і використанням комп'ютерних технологій.

Метою роботи є удосконалення обстеження опор контактної мережі в умовах «Одеської залізниці». Для досягнення цієї мети потрібно вирішити такі питання, як: 1. Аналіз методів діагностування опор, та обрання методу для подальшого його удосконалення; 2. Вибір діагностичного параметра для нового методу діагностування; 3. Дослідження обраного діагностичного параметра для справних і несправних опор. Проведено аналіз існуючих методів діагностування, визначені переваги і недоліки, обрано для подальшого удосконалення методи діагностування віброакустичний і тепловізійний. Тому, що достовірність визначення технічного стану опор контактної мережі збільшується при аналізі дох або трьох діагностичних параметрів.

Для удосконаленого методу діагностування запропоновано новий діагностичний параметр на основі трьох діагностичних параметрів. Запропоновано використання коефіцієнта на прийняття рішення стану опори контактної мережі.

Проведено експериментальне дослідження. Результати експериментальних вимірювань і теоретичних розрахунків відрізняються на 4%.

На основі проведених експериментальних та теоретичних досліджень вирішена актуальна науково-технічна мета, удосконалення обстеження опор контактної мережі в умовах «Одеської залізниці». Удосконалений метод діагностування дозволяє збільшити кількість діагностування опор в умовах Одеської залізниці.

**АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ КАБЕЛЬНИХ
ЛІНІЙ 10-35 КВ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МІСТ****Перепечений В.О.***Харківський національний університет міського господарства
імені О.М. Бекетова, Україна, м. Харків*

Кабельні лінії 6-35 кВ у цей час є основою міських і промислових розподільних мереж. Вони побудовані за петлевою або у вигляді двопроменевої схеми з одно- або двохтрансформаторними підстанціями. Як силовий кабель використовується в основному кабель із паперово-просоченої маслою ізоляцією з алюмінієвими жилами.

Попит на електричну енергію значно змінюється між регіонами й населеними пунктами. Поряд зі зниженням споживання електричної енергії в сільській місцевості багатьох регіонів відбувається його значний ріст у великих містах. У свою чергу, усередині міст зниження електроспоживання в промислових зонах компенсується його ростом у районах, де будуються житлові будинки або офісні й торгові центри.

При цьому, питання підвищення надійності електропостачання споживачів, при зростаючих потужностях, стають більш актуальними, тому як більшість споживачів міст не допускають тривалої перерви в електропостачанні.

У зв'язку з високим зношуванням розподільних електричних мереж, показники надійності електропостачання за останні роки знижуються. Ушкодження КЛ напругою 6-35 кВ, в основному відбуваються із причин дефектів прокладки, природного старіння силових кабелів, механічного ушкодження, заводських дефектів, корозії.

Сьогодні існуючі в більшості міст кабельні лінії електропередач напругою 6(10) кВ повністю вичерпали свій ресурс, у тому числі й за пропускною здатністю. Можливість передачі по них більшої або хоча б близьку до номінальної потужності приведе до збільшення числа ушкоджень і, як наслідок, частим перебоєм в електропостачанні споживачів. Робота мереж у колишніх параметрах й повному обсязі за економічними та технічними міркуваннями є неефективна.

Актуальність заходів спрямованих на підвищення ефективності електропостачання споживачів визначається різким ростом щільності електричних навантажень у міських електричних мережах, істотним ростом вартості землі, відчужуваної під будівництво підстанцій, розподільних устроїв і ліній 6-35 кВ, а також необхідністю зниження втрат електроенергії при її транспортуванні.

Розвиток розподільних електричних мереж повинен бути спрямований на підвищення надійності, забезпечення якості й економічності електропостачання

споживачів шляхом постійного вдосконалювання мереж на базі інноваційних технологій з перетворенням їх в інтелектуальні мережі.

Одним з варіантів рішення цієї проблеми є підвищення рівня живлячої напруги споживачів з 6(10) кВ до 20 кВ. Це спричинить відповідні капітальні витрати на спорудження нових або реконструкцію, з підвищенням рівня напруги, старих підстанцій і ЛЕП. Однак, ці витрати швидко окупляться й простежується економічний ефект від такого заходу [1].

Питання переходу споживачів на більш високий клас живлячої напруги обговорюється досить давно і є актуальним. У такому підході до рішення проблеми електропостачання споживачів у великих містах є свої плюси й мінуси, однак, необхідність збільшення пропускної потужності розподільних мереж, диктує чітку необхідність рішучих дій. Адже при збільшенні живлячої напруги з 10 кВ до 20 кВ при тому самому перетині ліній електропередач, передана потужність збільшується в 2 рази. Як результат, можливість забезпечити електричною енергією більшу кількість споживачів.

Більше ж високий клас напруги не тільки скорочує втрати електроенергії, але й збільшує маневреність системи міста, скорочує строки технологічного приєднання споживачів, і, що важливо, виключає можливість виникнення дефіциту потужності на багато років.

Істотно знизити капітальні вкладення й експлуатаційні витрати на кабельні ЛЕП можна, якщо застосовувати на напрузі 20 кВ кабелі з ізоляцією з «зшитого» поліетилену [2].

Дослідження конструктивних особливостей кабелів 20 кВ показує, що застосування замість паперово-просоченої ізоляції кабелів зі зшитого поліетилену дозволяє підвищити пропускну здатність кабелів за рахунок збільшення припустимої температури, полегшує умови прокладки, зменшує експлуатаційні витрати й знижує вартість кабелю в 2 рази в порівнянні з кабелями типу АОСБ (ОСБ).

Таким чином, можна зробити висновок, що втрати енергії зменшуються при переході на більш високі номінальні напруги. Тому застосування 20 кВ для кабельних ліній у міській мережі дозволить істотно зменшити втрати електричної енергії в порівнянні з 10 кВ при передачі однієї й тієї ж потужності, але кабелем меншого перетину. Залежно від переданої потужності втрати активної потужності в лініях 20 кВ у порівнянні 10 кВ зменшаться в 2-3 рази. Таким чином, по лініях можна передати більше потужності споживачеві. Однак найменші втрати активної потужності будуть мати місце при передачі на напрузі 35 кВ.

Список використаних джерел:

1. Перепечений В.О. Регресійні залежності вартісних показників елементів електричних мереж напругою 10-35 кВ // В.В. Зорін, Р.О. Буйний, В.О. Перепечений / Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 7 (1229). – С.18-23
2. СОУ-Н МЕН 45.2-37471933-44. Укрупнені показники вартості будівництва підстанцій напругою від 6 кВ до 150 кВ та ліній електропередавання напругою від 0,38 кВ до 150 кВ. Норми – К.: Міненерговугілля України, 2015. – 40с.

ОПТИМІЗАЦІЯ СУМІСНОЇ РОБОТИ СПОЖИВАЧІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ ВІТРОВОЇ ЕНЕРГІЇ

Полях О.М., Сорокін А.Д.

*Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна, Україна, м. Дніпро*

Зараз почали посилюватися екологічні вимоги у багатьох країнах і це призводить до вирівнювання вартості енергії традиційних та альтернативних джерел, також на це вплинуло зростання вартості енергії традиційних електричних станцій, особливо вугільних, але завдяки технологічному вдосконаленню устаткування для джерел поновлювальної енергетики знижується їх вартість.

На території України зі зміною умов надання послуг з електропостачання, посприяло стрімке збільшення та розвиток відновлювальних джерел електроенергії, збільшенням кількості постачальників. Вітрова енергія доступна в кожному кутку нашої планети. Вона є екологічно чисте джерело, без негативного впливу на навколишнє середовище. Актуальним питанням є можливість використання альтернативних джерел електроенергії на власні потреби тягових підстанцій.

Вітроенергетика - галузь енергетики, що спеціалізується на використанні енергії вітру - кінетичної енергії повітряних мас в атмосфері. Енергію вітру відносять до поновлюваних видів енергії, так як вона є наслідком діяльності сонця. Вітроенергетика є бурхливо розвивається галуззю, так в кінці 2010 року загальна встановлена потужність усіх вітрогенераторів склала 94,1 ГВт, збільшившись у п'ятеро з 2004 року. Переваги: екологічно-чистий вид енергії. Виробництво електроенергії за допомогою "вітряків" не супроводжується викидами вуглекислого чи будь-якого іншого газу; відновлювана енергія - енергія вітру, на відміну від викопного палива, невичерпна. Недоліки: нестабільність, яка полягає в відсутності гарантій отримання необхідної кількості електроенергії в часі. На деяких ділянках суші сили вітру може виявитися недостатньо для вироблення необхідної кількості електроенергії; висока вартість (установки потужністю 1 МВт становить 1 мільйон доларів); шумове забруднення (Шум від "вітряків" може викликати занепокоєння, як диких тварин, так і людей, які проживають поблизу). Саме шумове забруднення не дозволяє використовувати вітряки в містах. Але їх можна використати на тих тягових підстанціях, що знаходяться за межами міст.

Метою роботи є оптимізація сумісної роботи споживаної електроенергії при застосуванні різних джерел живлення на власні потреби.

В роботі приведено основні причини переходу до відновлюваних джерел енергії та проаналізовано можливості застосування сучасних альтернативних

джерел для забезпечення електроживлення споживачів. Показано перспективи застосування альтернативної електроенергетики. Оптимізація системи електропостачання запропонована на основі нейронної мережі. Яка аналізує і пропонує оптимальний варіант виробництва та використання електроенергії. Застосування аналізатора в системі дозволяє автоматично визначати оптимальний режим роботи в споживанні енергії на власні потреби, аналіз погодних умов - вибирати режим роботи більш ефективніше. Стратегія оптимізації полягає також в своєчасному перемиканні між зовнішньою електромережою та джерелами відновлюваної енергії в залежності від стану споживання власних потреб, кількості накопиченої енергії.

Висновок. Оптимізація сумісної роботи споживачів електроенергії власних потреб при застосуванні вітрової енергії виконана за рахунок нейронної мережі. Такий принцип дозволяє оптимізувати та прогнозувати навантаження. За рахунок використання мережі датчиків та спостереження за станом погоди дозволяє нейронній мережі, більш ефективно та збалансовано вибирати режим роботи споживача. В результаті такої оптимізації електромережі скорочено витрати на електроенергію.

УДК 621.31

ОПТИМІЗАЦІЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ВИТРАТ НА ВЛАСНІ ПОТРЕБИ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ ТЕПЛООВОГО НАСОСУ

Полях О.М., Холодовський І.О.

*Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна, Україна, м. Дніпро*

Запаси нафти, газу, вугілля зовсім не нескінченні. Багато нафтовидобувних країн живуть сьогоднішнім днем. Вони нещадно витрачають нафтові запаси, не замислюючись, що через кілька десятиків років ці запаси вичерпаються. Альтернативні джерела енергії також знаходять все більшу і більшу популярність в світі збільшення уваги до екологічної обстановки в сучасному світовому співтоваристві. Ні для кого не секрет, що збільшуються з кожним роком викиди CO₂ внаслідок спалювання палива призводять до глобального потепління. Частково ці проблеми вирішують за рахунок енергії вітру, сонячної енергії та інші альтернативні джерела енергії. До плюсів альтернативних джерел енергії відноситься: відновлюваність, тобто альтернативне джерело енергії буде існувати завжди (вітер, припливи і відливи, сонячне світло, гейзери); відсутність шкідливих факторів. Всі ці фактори дозволяють говорити про безумовну перспективність розробок в цій області. Ці та інші явища вимагають від нас термі-

нового вирішення проблеми. Одним з можливих рішень може стати повсюдне використання альтернативних або поновлюваних джерел енергії. Тому питання оптимізації енергетичних витрат на власні потреби при застосуванні теплового насосу є актуальним.

Метою роботи є оптимізація енергетичних витрат на власні потреби при застосуванні теплового насосу.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні задачі:

- проведено аналіз споживаної енергії споживачі власних потреб тягової підстанції;
- досліджено можливість застосування теплового насосу як джерело нетрадиційного живлення на тяговій підстанції;
- оптимізація споживання енергії споживачів власних потреб з різними джерелами живлення альтернативним і існуючим.

В ході даної роботи було здійснено аналіз та опрацьовані основні теоретичні аспекти альтернативного джерела енергії для застосування їх на використання споживачами власних потреб тягової підстанції. Застосування альтернативних джерел енергії поряд з існуючими джерелами живлення є найоптимальнішим і ефективним засобом підвищення техніко-економічних показників тягової підстанції.

Досліджено оптимізацію споживаної енергії при застосуванні різних джерел живлення. Тобто, можливості застосування нетрадиційних джерел живлення на дистанції електропостачання, проаналізовано споживану електроенергію та можливість застосування нетрадиційних джерел живлення на дистанції електропостачання.

В ході дослідження запропоновано систему оптимізації електроенергії на основі нейронної мережі та застосування альтернативних джерел живлення з використанням оптимальної системи перемикачів між різними джерелами живлення.

Висновки.

Дана система оптимізації доступна для застосування на будь якому підприємстві де можливо використання теплового насосу.

Отримані результати проведених досліджень можна застосовувати для лабораторних робіт та практичних робіт з метою подальшого розвитку системи оптимізації.

Оптимізація виконана за рахунок нейронної мережі. Такий принцип дозволяє оптимізувати та прогнозувати навантаження як по енергосистемі в цілому, так і по енергетичним вузлам окремо.

Оптимізація енергетичних витрат на власні потреби при застосуванні теплового насосу дозволяє оптимізувати систему споживання електроенергії та має економічний ефект.

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОВІЗІЙНОГО КОНТРОЛЮ
КОНТАКТНИХ З'ЄДНАНЬ НА ТЯГОВИХ ПІДСТАНЦІЙ****Полях О.М., Циганко В.М.***Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна, Україна, м. Дніпро*

Сучасні системи виробництва і розподілу електроенергії визначаються надійністю електроустаткування. Аварійні пошкодження приводять до порушень електропостачання і надає великого економічного збитку. Підтримка необхідної міри надійності устаткування в процесі його експлуатації забезпечується системою технічного обслуговування і ремонтів. Традиційно ця система базується на періодичному проведенні планових профілактичних робіт і є системою обслуговування за часом напрацювання. Стосовно пристроїв високої напруги така система не є оптимальною, бо приводить до невиправданих відключень працездатного устаткування. Напружені графіки роботи електричних мереж і відсутність достатніх резервів призводять до необхідності збільшення міжремонтних періодів, що при існуючій системі технічного обслуговування веде до зниження рівня надійності основного устаткування. Резерви підвищення ефективності експлуатації устаткування укладені в переході на технічне обслуговування по реальній потребі. При цьому необхідність в обслуговуванні і ремонті визначається виходячи з дійсного стану устаткування. Крім того тривале перевищення найбільшої допустимої температури провідників над температурою навколишнього середовища в робочому режимі погіршує якість контактних з'єднань і викликає старіння ізоляції провідників. В свою чергу температурна стабілізація контактного з'єднання підвищує пожежну безпеку розподільчих пристроїв і підстанцій в цілому. Перехід до обслуговування устаткування по потребі неможливий без використання надійних методів виявлення і оцінки його поточного технічного стану. Це і визначає необхідність розвитку системи технічної діагностики. Тому питання підвищення ефективності методів тепловізійного контролю контактних з'єднань обладнання тягових підстанцій є актуальним.

В роботі проведено аналіз методів діагностування, які дають можливість дистанційного контролю і випробувань без виведення устаткування з роботи. Проведено порівняння методів контролю, заснованих на індикації випромінювань, пов'язаних з наявністю дефектів. До яких відносяться методи виявлення акустичних, теплових і світлових ефектів, а також випромінювань і струмів в області радіочастот, методи виявлення продуктів старіння і руйнування ізоляційних матеріалів. Для подальшого розвитку було обрано тепловізійний метод

діагностування контактних з'єднань обладнання тягової підстанції, який має ряд факторів, що ускладнюють виконання діагностики це вплив погодних умов, необхідність створення відповідного режиму електромережі, значна вартість діагностичного устаткування у порівнянні із традиційними. Але має ряд переваг: діагностику проводять на діючому устаткуванні; немає необхідності виконувати оперативні перемикання й підготовку робочого місця; при проведенні діагностики забезпечується безпека персоналу; забезпечується висока продуктивність праці; забезпечується необхідна точність і вірогідність результатів, бачення теплової картину цілком, що виключає пропуск дефектів; дефекти устаткування можна виявляти на ранній стадії їхнього розвитку, що дозволяє планувати ремонти для своєчасного усунення цих дефектів; є єдиним способом для виявлення дефектів електроустаткування, контактних з'єднань і контактів. Запропоновано систему контролю електроустаткування з застосуванням сучасної обчислювальної техніки, що дозволяє підвищити ефективність тепловізійного методу контролю контактних з'єднань обладнання тягових підстанцій.

ДІАГНОСТИКА СТАНУ ТРАНСФОРМАТОРНИХ МАСЕЛ З ВИКОРИСТАННЯМ МОДЕЛІ МНОЖИННОЇ РЕГРЕСІЇ

Пономаренко С.Г., Шутенко О.В.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Україна, м. Харків*

Оцінка стану ізоляції, особливо в області допустимих значень показників, є актуальним і практично значущим завданням, рішення якого дозволяє перейти на ремонт і обслуговування устаткування не за календарним терміном, а за технічним станом, а також виконувати прогнозування технічного стану маслонаповненого обладнання.

Для оцінки ступеня старіння трансформаторних масел запропоновано використовувати регресійну модель виду [1, 2]:

$$\hat{t} = b_0 + \sum_{i=1}^p b_i x_i, \quad (1)$$

де: \hat{t} – тривалість експлуатації трансформаторних масел, визначається за регресійною моделлю; p – кількість показників якості масел (регресорів); x_i – i -тий регресор (показник якості трансформаторного масла), b_0 , b_i – коефіцієнти регресійної моделі, які підлягають визначенню.

Оцінка ступеня окислення масел проводиться шляхом порівняння дійсного терміну експлуатації масел з розрахованим за виразом (1). В цій ситуації працює аналогія з віком людини, коли є «паспортний вік» (кількість прожитих років) і «біологічний вік» (ступінь зношеності організму, яка визначається набором медичних і фізіологічних ознак). Оскільки для показників трансформаторного масла справедлива гіпотеза компактності, рішення про ступінь окислення масел приймається згідно з наступним правилом:

$$\begin{aligned} \text{ЯКЩО } t_i - \hat{t}_i &= 0, \text{ то старіння відбувається з нормальною швидкістю;} \\ \text{ЯКЩО } t_i - \hat{t}_i &> 0, \text{ то старіння прискорене;} \\ \text{ЯКЩО } t_i - \hat{t}_i &< 0, \text{ то старіння сповільнене.} \end{aligned} \quad (2)$$

Навчання регресійної моделі (визначення значень коефіцієнтів регресії) здійснювалося на основі використання навчальної вибірки. В якості такої вибірки використовувалися результати періодичних випробувань стану трансформаторних масел по 249 трансформаторах напругою 110 кВ. Загальний обсяг на-

вчальної вибірки склав 17379 значень. Для зниження похибок експлуатаційних вимірювань результати періодичних випробувань були піддані двоетапній процедурі тестової фільтрації [2]. На першому етапі з вихідного масиву даних видалялися часові ряди (залежності показників трансформаторного масла від тривалості експлуатації для окремого трансформатора) зі спотвореними значеннями коефіцієнта парної кореляції показника на час. На другому етапі фільтрації з отриманого масиву видалялися стаціонарні часові ряди показників, тобто ті ряди, для яких зі зростанням тривалості експлуатації значення показників, статистично значимо не змінювалися. Оскільки аналізовані трансформатори експлуатуються в різних регіонах України, з різним складом споживачів, з різними значеннями коефіцієнтів завантаження, а також мають відмінності в конструкції і в сорті, і якості залитого масла, то швидкість старіння масла для різних трансформаторів істотно відрізняється. Для формування масивів показників з близькою швидкістю старіння в [3] запропоновано використовувати критерій максимуму кореляційного відношення. В результаті були отримані масиви з приблизно подібними значеннями швидкості дрейфу показників масла. Для побудови регресійних моделей використовувалася система комп'ютерної математики (СКМ) «Mathematica 5.1». Коефіцієнти множинної регресії були отримані з використанням функції ядра: $\text{Fit: Fit}[\text{data}, \text{funs}, \text{vars}]$. Ця функція шукає наближення для списку даних *data* методом найменших квадратів у вигляді лінійної комбінації функцій *funs* змінних *vars*. Регресійна модель старіння масла має вигляд:

$$\hat{t} = 19,393 - 0,320748 \cdot p_4 - 17,5105 \cdot p_1 + 1,13618 \cdot p_2 + 3,10496 \cdot p_3, \quad (3)$$

де: \hat{t} –розрахунковий час старіння; p_1 –значення кислотного числа масла; p_2 – значення тангенса кута діелектричних втрат масла при 70°C; p_3 – значення колірного числа масла; p_4 – значення пробивної напруги.

Виконаний розрахунок показав, що значення помилки моделі (3) $\sigma_{\text{прог.}} = 1,085$ року, що говорить про досить високу точність запропонованої моделі.

Список використаних джерел:

1. Бондаренко В.Е., Шутенко О.В. Оптимизация системы информационных показателей качества трансформаторного масла для технического эксплуатационного контроля маслonaполненного энергетического оборудования / В.Е. Бондаренко, О.В. Шутенко // Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків: УДАЗТ. – 2003. – №2. – с. 46-50.
2. Бондаренко В.Е., Шапов П.Ф., Шутенко О.В. Повышение эффективности эксплуатационного измерительного контроля трансформаторных масел [Монография] – Харків: НТУ «ХПИ», 2007. – 452 с.
3. Шутенко О.В. Формирование однородных массивов показателей качества трансформаторного масла в условиях априорной неопределенности результатов испытаний / О.В. Шутенко // Інтегровані технології та енергозбереження. – Харків: НТУ «ХПИ». – 2006. – № 4. – с. 42-50.

НАПІВПРОВІДНІ ПОКРИТТЯ ЯК ФАКТОР ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕГУЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ В СТАТОРНОЇ ОБМОТЦІ ВИСОКОВОЛЬТНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МАШИНАХ

Рогинський О.В.

Державне підприємство «Електроважмаш», Україна, м. Харків

При роботі високовольтних електричних машин (ЕМ) виникають часткові розряди (ЧР): **внутрішні ЧР** в повітряних включеннях ізоляції через різницю потенціалів між струмопровідною частиною і зовнішньою поверхнею ізоляції, покритої провідним матеріалом низького опору; **зовнішні ЧР**, які виникають в **пазової** частини обмотки через різницю потенціалів між поверхнею ізоляції і сердечником статора і в **лобової** частини за рахунок наявності різкого стрибка напруги електричного поля в місці виходу обмотки з паза.

ЧР зазвичай не є основною причиною виходу з ладу ЕМ, але є однією з причин цього. Однак ч.р. завдають істотної шкоди корпусної ізоляції.

Для усунення зовнішніх ЧР в зоні пазової частини і в місці виходу обмотки з паза на пазову частину обмоток ЕМ наноситься так званий “провідний шар”, як правило, у вигляді стрічки або лаку на основі графіту. Питомий поверхневий опір пазового покриття становить $\rho_s = 10^2 \div 10^4$ Ом.

В лобової частини в місці виходу обмотки з паза при наявності різко неоднорідного електричного поля крайові розряди, що виникають при напрузі, меншій робочої, застосовується регулювання електричного поля за допомогою напівпровідних протикоронних покриттів з нелінійної вольт-амперною характеристикою, питомий поверхневий опір яких становить $(10^5 - 10^9)$ Ом (рис. 1).

Встановлено, що для електричної машини на лінійну напругу 20 кВ діапазон значень питомого поверхневого опору протикоронного покриття повинен становити $(10^8 - 10^9)$ Ом. Виконані експериментальні дослідження підтверджують стабільність нелінійних властивостей покриттів на підставі результатів тривалого електричного і теплового старіння спеціально виготовлених зразків покриття на основі нелінійного компаунда та у вигляді стрічки.

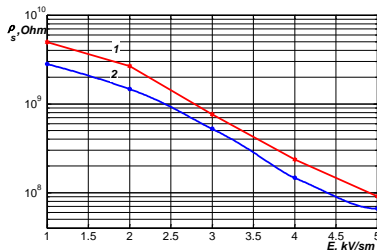


Рисунок 1 - Експериментальна залежність від напруженості електричного поля випрямленої частоти питомого поверхневого опору протикоронного покриття на основі нелінійного компаунда (крива 1) і покриття у вигляді стрічки (крива 2)

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КИНЕТИЧЕСКИХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАГРУЗКИ ПОТРЕБИТЕЛЯ

Савченко Н.А.

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
Украина, г.Краматорск*

Необходимость решения проблемы аккумулирования энергии в энергетической сфере хозяйствования привела в последние годы к бурному развитию кинетических накопителей энергии, которые обладают рядом преимуществ по сравнению с другими видами накопителей. Применение КЭН для регулирования суточных графиков нагрузки потребителя на данный момент теоретически и экспериментально исследуется во многих научных трудах, поэтому определение эффективности их применения является актуальной задачей.

Подключение кинетических накопителей в систему электроснабжения потребителей позволяет решить ряд задач: основной – регулирование графика нагрузки потребителя и дополнительных – регулирование качества электрической энергии, обеспечение бесперебойного питания, что значительно повышает надежность и энергоэффективность работы электрических сетей напряжением 0,4 кВ.

Регулирование графиков нагрузки потребителей является основой энергоэффективности процессов производства, передачи и потребления энергии.

Процесс регулирования (выравнивания) графика нагрузки заключается в том что в часы спада нагрузки КНЭ работает как потребитель электроэнергии, а в часы максимума как генератор, что позволяет управлять режимами энергопотребления внутренней системы электроснабжения потребителя

Методики оценки эффективности работы накопителей энергии достаточно разнообразны и каждая имеет представление определенной группой показателей, но в целом условно они могут быть разделены на технические и экономические, которые могут быть взаимосвязанны между собой.

Единого подхода по определению показателей эффективности применения кинетических накопителей энергии для регулирования ГЭН потребителя на данном этапе не разработано, что существенно затрудняет оценку целесообразности их применения в сравнении с другими вариантами накопителей.

Целью работы является разработать методику, которая содержит минимальную группу экономических и технических показателей, позволяющих проанализировать эффективность применения кинетических энергонакопителей для регулирования суточных графиков нагрузки потребителя.

КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ТЯГОВОЇ ПІДСТАНЦІЇ ЗМІННОГО СТРУМУ

Ткаченко В.О.

*Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна, Україна, м. Дніпро*

В електроенергетичних системах виникає проблема коли суміжні тягові підстанції отримують живлення від різних енергосистем. Це, зокрема, впливає і на роботу тягової мережі електрифікованих залізниць, адже фізично не може існувати двох абсолютно ідентичних систем, особливо різниця між ними помітна при недостатній потужності однієї з систем. В роботі розглядається доцільність впровадження компенсуючих пристроїв у тягову мережу для вирішення проблеми удосконалення режиму напруги на міжпідстанційній зоні. Для цього розробляється імітаційна модель ділянки для дослідження впливу компенсації на різницю напруги за модулем та фазою.

Електрифіковані залізниці змінного струму є специфічним споживачем електричної енергії. Причиною цього є живлення тягової мережі від різних вузлів однієї або декількох енергосистем. Покращення умов сполучення систем зовнішнього та тягового електропостачання (зниження втрат при паралельній роботі тягових підстанцій) може бути досягнуто за рахунок оптимізації деяких параметрів ділянки та режиму роботи ділянки електроенергетичної системи.

Проблема реактивної потужності в системі тягового електропостачання змінного струму також має місце. Реактивна енергія являє собою потужність, яку джерело змінного струму протягом однієї чверті періоду віддає в зовнішнє коло, що володіє реактивним опором, а протягом іншої чверті періоду одержує її назад. Характеризує вона енергію, не споживану в зовнішньому колі, а ту, що коливається між зовнішнім колом і джерелом, тобто ємнісну й індуктивну енергію, яка накопичується тимчасово, а потім віддається джерелу.

Для вирішення окреслених проблем можливі наступні варіанти: перехід від схеми вузлового живлення до схеми зустрічно консольного живлення; вибіру нахилу зовнішньої характеристики тягових підстанцій; переведення підвищеного районного навантаження на резервний тяговий трансформатор; обмеження паралельної роботи тягових трансформаторів; обґрунтованого вибору місця встановлення компенсуючих пристроїв з точки зору мінімальних вирівнювальних струмів; оптимізація режимів роботи систем тягового та зовнішнього електропостачання.

В ході виконання роботи отримані наступні результати: 1) комплексно розглянуті питання узгодження різних зовнішніх систем електропостачання при живленні міжпідстанційної зони тягової мережі змінного струму; 2) проаналізовані дані експериментальних досліджень на тяговій підстанції «Імені Т. Г. Шевченка» та проведено імітаційне моделювання міжпідстанційної зони; 3) запропоновано конфігурацію застосування компенсації реактивної потужності для вирішення проблеми наявності вирівнювального струму в тяговій мережі та виникнення додаткових втрат потужності.

РЕКОНСТРУКЦІЯ ПОВІТРЯНОЇ ЛІНІЇ 110 кВ

Федосєєнко О.М., Яковенко О.В.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Україна, м. Харків*

Підставою для проектування та реконструкції повітряної лінії (ПЛ) є зношення існуючих опор. Основним об'єктом проектування є існуюча ділянка двокової ПЛ 110 кВ довжиною 0,55 км, на якій передбачається заміна двоколових сталевих та залізобетонних опор і заміна існуючих дротів і грозозахисного троса.

Закон України «Про електроенергетику» [1] визначає, що повітряні лінії електропередач напругою 35-110 кВ є місцевими (локальними) електричними мережами, приєднаними до магістральних електричних мереж і призначені для передачі електроенергії від магістральних мереж до споживачів.

Розрахункові дані лінії 110 кВ дані в табл. 1, а розрахункова схема заміщення лінії на рис. 1.

Таблиця 1 – Розрахункові дані лінії 110кВ

Параметр	Величина
Довжина лінії, L , км	0,55
Кількість кіл (переріз проводу), $n_{\text{лан}} (F)$, од.(мм ²)	2(300/39)
Активний опір, $R_{\text{л}} = r_0 \cdot L$, Ом (на одне коло)	5,39
Реактивний опір, $X_{\text{л}} = x_0 \cdot L$, Ом (на одне коло)	23,595
Зарядна потужність, $Q_{\text{зар}} = q_0 \cdot L$, Мвар (на одне коло)	7,755

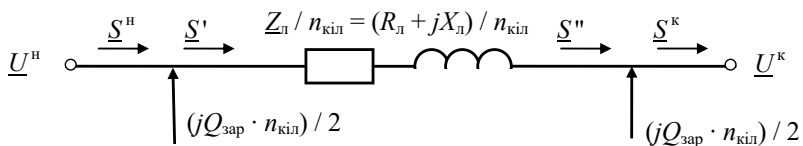


Рисунок 1 – Схема заміщення повітряної лінії мережі

Для ПЛ 110 кВ, що реконструюється, відповідно до наведених в ПУЕ карт районування території України [2], прийняті наступні кліматичні умови: другий вітровий район з характеристичним значенням максимального вітрового тиску -

450 Па; другий район за характеристичними значеннями ожеледі; середньорічна температура повітря: 7 °С (другий район).

Відповідно до завдання і кліматичних умов на реконструйованій ділянці прийняті дроти марки АС 300/39. В якості грозозахисного троса прийнятий сталевий канат ТК (9,1-Г-Ж-Н-1370 (140).

У зв'язку з тим, що реконструюється ділянки лінії проходить в умовах обмеженого простору міста з великою кількістю підземних комунікацій, в якості анкерно-кутових опор прийняті спеціальні сталеві вузкобазі типові опори для міських умов УС110-6 з базою 3,5х3,5 м.

Кількість нових опор становить 6 шт., В тому числі: УС110-6 - двоколова сталева анкерно-кутова спеціальна - 2 шт.; УС110-6В - двоколова сталева анкерно-кутова спеціальна із середніми траверсами типу Р12 - 4 шт.

Ділянка ПЛ проходить в районі з інтенсивним рухом транспорту з перетином проїжджої частини. З огляду на це, а також враховуючи досвід експлуатації існуючих ліній в даному районі для реконструйованої ділянки ПЛ прийнята друга ступінь забруднення атмосфери з питомою ефективною довжиною шляху витоку $\lambda_{\text{эф}} = 2,0$ см/кВ. На підставі викладеного, з урахуванням механічної міцності ізоляторів і нормованого коефіцієнта запасу міцності в них, підтримуючи і натяжні гірлянди комплектуються з ізоляторів ПСД70Е в кількості:

- підтримуюча гірлянда - 8 шт. ПСД70Е;
- натяжна двоколова гірлянда - $2 \times 9 = 18$ шт. ПСД70Е.

На всіх проектованих анкерно-кутових опорах передбачені двоколові натяжні гірлянди ізоляторів з роздільним кріпленням кожної ланцюга до опори.

Захист лінії від ударів блискавки здійснюється підвіскою одного грозозахисного троса марки ТК 9,1 по всій довжині ділянки, що реконструюється. Відстань між тросом і проводом в середині прольоту, забезпечує нормовану за умовами грозових перекирттів величину, а також допустимий кут грозозахисту.

Заземлювальні пристрої було обрано в залежності від еквівалентного питомого опору ґрунтів. Виходячи з цих значень, а також враховуючи, що ПЛ проходить в обмежених міських умовах, заземлюючі пристрої опор прийняті з круглої сталі діаметром 16 мм, в конструктивному виконанні - це вертикальні електроди.

Список використаних джерел:

1. Про ринок електричної енергії: закон України від 13 квітня 2017 р. № 2019-VIII [Електронний ресурс] / Верховна Рада України. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19>
2. Правила улаштування електроустановок. – [Чинний від 2014-11-20]. – К. : Мінерговугілля України, 2014. – 793 с.

РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ СТАНУ ОБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ

Швець С.І., Шутенко О.В.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Україна, м. Харків*

В умовах старіння парку високовольтного електроенергетичного обладнання вкрай актуальною є задача розробки та практичного впровадження сучасних методів та математичних моделей неруйнівної діагностики. Вирішення цієї задачі ускладнюється тим, що в багатьох енергетичних компаніях результати періодичних іспитів зберігаються в паперовому вигляді, що унеможливорює використання складних алгоритмів розпізнавання. Враховуючи складність структури виробництва, розподілу й споживання електроенергії та наявність великої кількості різного устаткування, що задіяне в даному процесі, для вирішення задач діагностики стану обладнання доцільно використовувати системи штучного інтелекту або інформаційно-аналітичних систем. Порівняльний аналіз функціональних можливостей і принципів організації існуючих експертних систем (ЕС) [1] показав, що дані системи відрізняються принципами побудови, методами обробки даних і різними функціональними можливостями. Досвід експлуатації таких систем на енергопідприємствах України, показує, що дані системи не завжди адаптовані до національних стандартів, у деяких випадках не відповідають вимогам до подання інформації, що не дозволяє використовувати їх повною мірою. У зв'язку з цим виникає необхідність розробки національної інформаційно-аналітичної системи, яка б відповідала кращим світовим аналогам.

На сьогодні на кафедрі «Передача електричної енергії» НТУ «ХПІ» проводиться активна розробка інформаційно-аналітичної системи «СИРЕНА». Дана система призначена для зберігання, накопичення, представлення, обробки й дослідження діагностичної інформації й формування висновків про стан устаткування. Система може працювати як на одному робочому місці, так і у випадку розподіленої бази даних [2]. Блоки інформаційно-аналітичної системи встановлюються в районах енергомереж (РЕМ), на мережевих підприємствах (ПЕМ), у хімлабораторії (ХЛ) та у керуванні енергокомпанії. Потoki руху інформації і її обробку можна представити у вигляді тривірневої схеми. Бази даних (БД) і бази знань (БЗ) різних вузлів синхронізуються за допомогою механізму реплікації. Між вузлами передаються тільки спеціальні файли зі змінами. Система забезпечує зберігання інформації в таблицях реляційних БД і виклик програм для окремих записів (рядків) цих таблиць. Для забезпечення швидкого й зручного пошуку інформаційних об'єктів використовуються спеціально розроблений модуль «Навігатор» (рис. 1). Навігатор – це деревоподібна структура,

що складається з інформаційних об'єктів, зв'язаних між собою асоціативними зв'язками. Перегляд і редагування інформаційних об'єктів забезпечується універсальною програмою, яка підставляє в діалогові форми дані з таблиць БД, що спрощує роботу фахівця з великим набором даних.

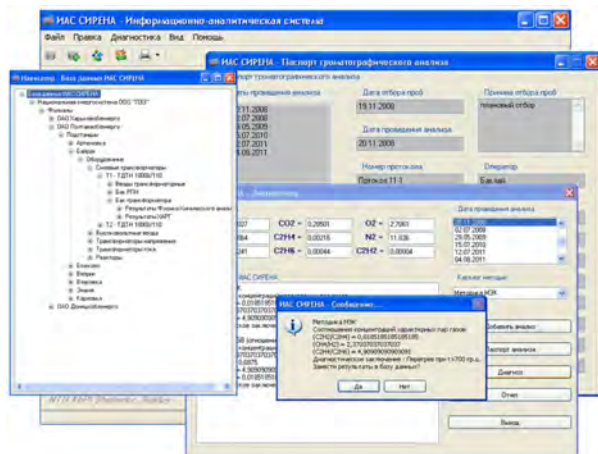


Рисунок 1 – Загальний вид діалогових вікон ІАС «СИРЕНА»

ІАС "Сирена", що розробляється на кафедрі, будується відповідно до структури та ієрархії управління енергокомпанією і має чітко виділені рівні. Кожен рівень має свої функціональні та інформаційні можливості, рівні узагальнення, аналізу та захищеності інформації відповідно до існуючої ієрархії організації експлуатації електрообладнання. Як і більшість ЕС, що працюють з БД, ІАС «Сирена» використовує промислову універсального призначення СУБД InterBase в локальній мережі підприємства в режимі клієнт-сервер із застосуванням реляційної моделі даних, що дозволяє значно знизити вартість розроблення ІАС і при цьому забезпечити збереження даних, розвантажити інформаційні канали зв'язку підприємства за допомогою віддаленого сервера системи. Застосування реляційної моделі зберігання даних дає можливість вільного доступу до даних по засобам SQL запитів, що не відіграє не останню роль при роботі з великою кількістю різноманітної інформації.

Список використаних джерел:

1. Шутенко О.В., Баклай Д.Н. Анализ функциональных возможностей экспертных систем, используемых для диагностики состояния высоковольтного маслонаполненного оборудования / О.В. Шутенко, Д.Н. Баклай // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2011. – №3. – с. 179-193.
2. Баклай Д.Н., Шутенко О.В. Принципы построения баз данных в информационно-аналитической системе «Сирена» /Д.Н. Баклай, О.В. Шутенко//Вісник НТУ" ХПІ". Тематичний випуск: Енергетика: надійність і енергоефективність. – 2011. – №. 41. – с. 15-22.

МЕТОД РАНЬОГО ВИЯВЛЕННЯ ДЕФЕКТІВ ВИСОКОВОЛЬТНОГО МАСЛОНАПОВНЕНОГО ОБЛАДНАННЯ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ДИНАМІКИ КРИТЕРІЇВ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ДЛЯ ІНТЕРПРЕТАЦІЇ РЕЗУЛЬТАТІВ АРГ

Шутенко О.В.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Україна, м. Харків*

На сьогодні для діагностики стану високовольтного маслонаповненого обладнання по результатам аналізу розчинених в маслі газів (АРГ) використовуються наступні критерії: значення концентрацій газів, значення швидкостей наростання газів, значення відношень газів, значення відсоткового вмісту газів, а також значення відношень газів до газу з максимальним вмістом. Перші два критерія використовують для знаходження дефекту, а наступні три критерії використовують для розпізнавання типу дефекту. Слід зазначити, що в процесі діагностики аналізуються лише числові значення зазначених критеріїв без урахування характеру їх зміни в часі, що не дозволяє виявити дефекти, що розвиваються, на ранній стадії їх розвитку, коли числові значення критеріїв знаходяться в області допустимих значень. В той же час, виконані дослідження показують, що виникнення дефекту в маслонаповненому обладнанні негерметичного виконання приводить не тільки до зміни числових значень даних критеріїв, але і до суттєвої зміни характеру їх зміни в часі.

Зокрема, при відсутності дефекту в високовольтних силових трансформаторах негерметичного виконання [1] залежності концентрацій газів, швидкості наростання газів, відношення пар газів носять випадковий стохастичний характер. Також випадково змінюються і графічні образи, побудовані за результатами АРГ бездефектного обладнання. Випадковий характер зміни у часі діагностичних критеріїв, що використовуються для інтерпретації результатів хроматографічного аналізу розчинених у маслі газів, нормально працюючих справних трансформаторів, обумовлений як процесами дифузії газів з масла в атмосферу, так і особливостями газоутворення в присутності вільного кисню. При аварійних впливах з боку мережі в залежності концентрацій газів і швидкостей їх наростання від тривалості експлуатації спостерігається короткочасне переважання систематичної компоненти над випадковою складовою [1]. При цьому значення відношень пар газів тимчасово стабілізуються в області, характерній для даного рівня енергетичного впливу, яке є наслідком даного аварійного режиму. Також спостерігається короткочасна стабілізація графічних образів дефектів, при якій отримані образи збігаються з образами дефектів, характерних для даного рівня енергетичного впливу.

Розвиток дефекту в силових трансформаторах [2, 3] характеризується появою значущої систематичної складової в залежності концентрацій газів від

тривалості експлуатації, появою значущої систематичної складової в залежності інтегральних значень швидкостей наростання газів від тривалості експлуатації і стабілізацією значень відношень пар газів і графічних образів дефектів області, характерної для даного типу дефекту. Більш того, як показано в [4] при розвитку дефекту відсотковий вміст газів також стабілізується на певному рівні, відповідному дефекту даного типу. Іншими словами ті критерії, які використовуються для виявлення дефекту, мають нестационарний характер залежно від тривалості експлуатації. У той же час, значення критеріїв, що використовуються для розпізнавання типу дефекту, стабілізуються в області, строго характерній для даного типу дефекту.

Виявлені зміни в характері часових залежностей зазначених діагностичних ознак мають місце ще до того моменту, коли концентрація хоча б одного з газів перевищує граничні значення (див. рис. 1), тобто існує можливість раннього виявлення дефектів як при періодичному, так і при безперервному контролі вмісту газів.

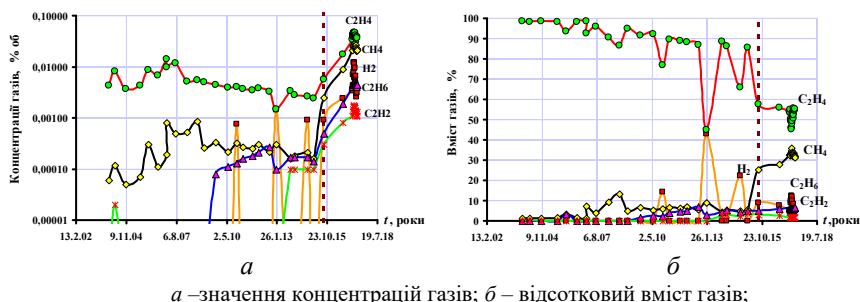


Рисунок 1 – Динаміка зміни вмісту газів в маслі трансформатора ТДТН-40000/110 в якому було виявлено високотемпературне нагрівання з температурою вище 700°C

Список використаних джерел:

1. Шутенко О.В. Особенности динамики изменения критериев используемых для интерпретации результатов ХАРГ в силовых трансформаторах с разными типами дефектов / О.В. Шутенко // Новое в Российской электроэнергетике – Москва. – 2017. – № 9. – с. 30-49.
2. Шутенко О.В. Анализ динамики изменения критериев используемых для интерпретации результатов ХАРГ в бездефектных высоковольтных трансформаторах негерметичного исполнения /О.В. Шутенко// Електротехніка та електроенергетика. – Запоріжжя – 2017– № 2. – с. 74-83.
3. Shutenko O. Method for Detection of Developing Defects in High-Voltage Power Transformers by Results of the Analysis of Dissolved Oil Gases / O. Shutenko // Acta Electrotechnica et Informatica. – 2018. – Vol. 18. – №. 1. – pp. 11-18; DOI: <https://doi.org/10.15546/aeci-2018-0002>.
4. Shutenko O. Faults diagnostics of high-voltage equipment based on the analysis of the dynamics of changing of the content of gases /O. Shutenko // Energetika – 2018. – Vol. 64. – №. 1. – pp. 11-22. DOI: <https://doi.org/10.6001/energetika.v64i1.3724>.

Наукове видання

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

III Міжнародної науково-технічної конференції
**«ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ЕНЕРГЕТИЧНА БЕЗПЕКА
ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ (EEES-2019)»**

Відповідальний за випуск: Довгалюк О. М.

Комп'ютерна верстка: Власова Ю. Ф.

Підписано до друку 19.11.2019. Формат 60х84/16. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman. Друк цифровий.
Умов. друк. арк. 8,6. Наклад 100 прим. Зам. № 1138 .



Видавець та виготовлювач
ТОВ «ДРУКАРНЯ МАДРИД»
61024, м. Харків, вул. Максиміліанівська, 11
Тел.: (057) 756-53-25

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
Серія ДК № 4399 від 27.08.2012 р.
www.madrid.in.ua e-mail: info@madrid.in.ua

